

Aus dem Institut für Medizin
der Kernforschungsanlage Jülich GmbH
Direktor : Prof. Dr. L. E. Feinendegen

**ANALYTISCHE BESTIMMUNG DER SPURENELEMENTE ZINK
UND SELEN IN OPERATIV ENTFERNTEN RETINIERTEN
WEISHEITZÄHNEN MIT HILFE
DER NEUTRONENAKTIVIERUNGSANALYSE.
AUFZEIGEN VON UMWELTEINFLÜSSEN AN DEN
VERSCHIEDENEN INDUSTRIALISIERTEN STANDORTEN
DUISBURG UND AACHEN.**

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Michael Frohn

1986

Aus dem Institut für Medizin
der Kernforschungsanlage Jülich GmbH
Direktor : Prof. Dr. L. E. Feinendegen

**ANALYTISCHE BESTIMMUNG DER SPURENELEMENTE ZINK
UND SELEN IN OPERATIV ENTFERNTEN RETINIERTEN
WEISHEITZÄHNEN MIT HILFE
DER NEUTRONENAKTIVIERUNGSANALYSE.
AUFZEIGEN VON UMWELTEINFLÜSSEN AN DEN
VERSCHIEDENEN INDUSTRIALISIERTEN STANDORTEN
DUISBURG UND AACHEN.**

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Michael Frohn

1986

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

Der Dekan der Medizinischen
Fakultät der Universität
Düsseldorf

gez. : Prof. Dr. Berger

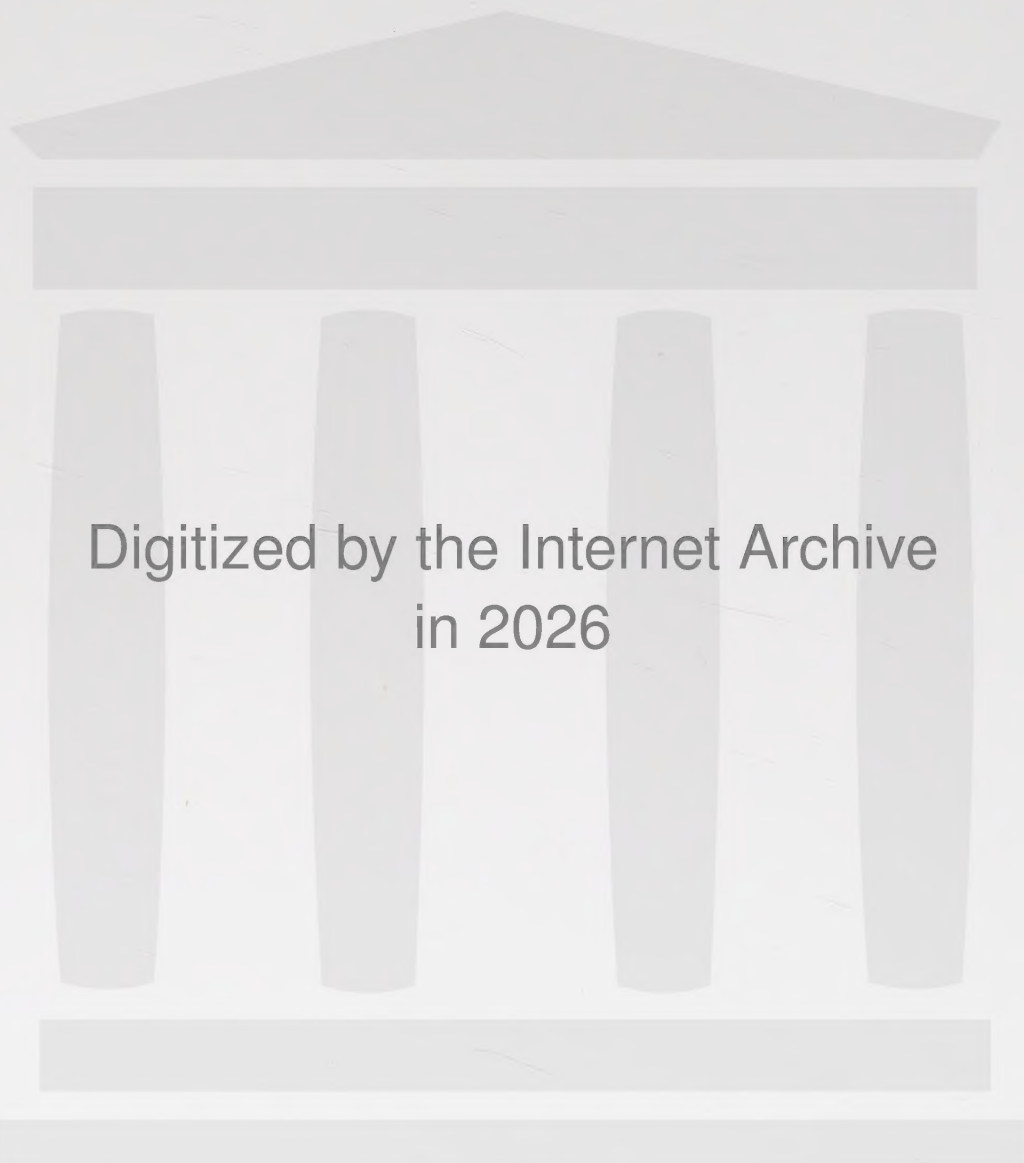
Referent :
gez. : Prof. Dr. Feinendegen

Korreferent :
gez. : Prof. Dr. Böttger

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, daß ich die vorliegende Arbeit "Analytische Bestimmung der Spurenelemente Zink und Selen in operativ entfernten retinierten Weisheitszähnen mit Hilfe der Neutronenaktivierungsanalyse. Aufzeigen von Umwelteinflüssen an den verschiedenen industrialisierten Standorten Duisburg und Aachen" ohne unerlaubte Hilfe verfaßt habe.

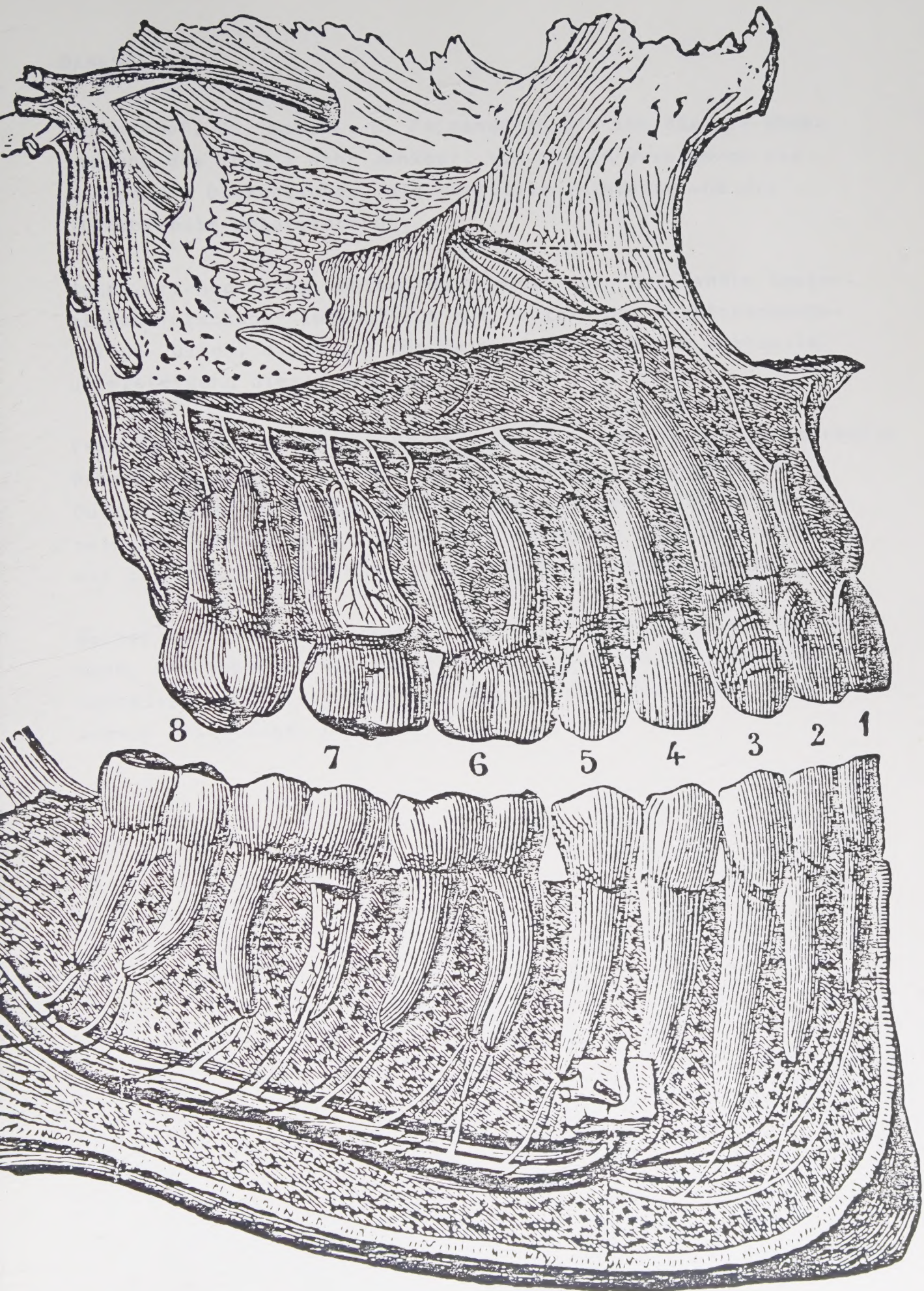
Jülich, den 17.3.86

Michael Hies



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548820_0003



DANKSAGUNG

Herrn Prof. Dr. med. L. E. Feinendegen bin ich für die Überlassung des Themas sehr dankbar. Von großem Wert waren die anregenden Diskussionen, die wertvollen Hinweise und die hilfsbereite Unterstützung.

Herrn Dr. med. Kiem, Leiter des Labors für "Angewandte Spurenelementforschung" im Institut für Medizin der Kernforschungsanlage Jülich, danke ich für seine Initiative und wertvolle Unterstützung dieser Arbeit.

Frau Koslowski und Herrn Beyer danke ich sehr für viele wertvolle Ratschläge und für die hilfsbereite Unterstützung bei der Durchführung der Neutronenaktivierungsanalyse. Ebenso gilt mein aufrichtiger Dank den Damen und Herren des Labors, die mir in verschiedenen Phasen hilfreich zur Seite standen.

Weiter sei allen Mitarbeitern der Kernforschungsanlage Jülich GmbH, den Inhabern von Projektstellen und den ausländischen Gastwissenschaftlern gedankt, die zum Gelingen dieser Promotionsarbeit beigetragen haben.

I N H A L T S Ü B E R S I C H T

Einleitung	Seite
1. Spurenelemente und ihre Bedeutung	14
2. Einfluß von Spurenelementen auf die Mineralisation von Zähnen	25
3. Spurenelemente und Umweltbelastungen	36
4. Neutronenaktivierungsanalyse : empfindliche Methode zur Bestimmung der Spurenelemente in Zahnsubstanzen	40
5. Experimenteller Teil: Untersuchung der Spurenelementkonzentrationen in Zahnhartsubstanzen	42
6. Ergebnisse der Neutronenaktivierungsanalyse	58
7. Diskussion der Versuchsergebnisse	63
8. Literatur	75

Tabellen:

1. Erkrankungen mit pathophysiologischer Beziehung zu Spurenelementen (109) - S. 17
2. Hemmung bzw. Aktivierung verschiedener Enzyme durch verschiedene Elemente (69) - S. 18
3. Einige Krankheiten, bei denen Zn, Cu und Se vom Normbereich abweichen (71) - S. 19
4. Optimale tägliche Zufuhr von Spurenelementen beim Menschen nach Fox und Mertz (39) - S. 22
5. Kariesanfälligkeit - abhängig vom Selen- und Fluoridgehalt des Trinkwassers (139) - S. 30
6. Kariesanfälligkeit in Abhängigkeit von Cd und Pb (26) - S. 32
7. Korrelation zwischen Spurenelementen und Karies - S. 35
8. Richtlinie 2310 Reinhaltung der Luft - NRW (91) - S. 37
9. Empfohlene Grenzwerte für Trinkwasser der WHO (91) - S. 38
10. Spurenelemente in Kleinkinder- und Babynahrung (137) - S. 39
11. Spurenelemente in menschlicher Milch (99) - S. 39
12. Patientenliste Duisburg - S. 44
13. Patientenliste Aachen S. 45
14. Unterschiedliche Berylliumeinlagerung in verschiedenen Zahntypen (81) - S. 46

15. Cadmiumkonzentrationen im retinierten bzw. durchgebrochenen Zahnschmelz (122) - S. 47
16. Elemente - Isotope - Halbwertzeiten (69) - S. 57
17. Zahnzinkkonzentrationen in Aachen - S. 58
18. Zahnzinkkonzentrationen in Duisburg - S. 59
19. Zahnzinkkonzentration in retinierten Weisheitszähnen aus Aachen und Duisburg - S. 61
20. Literaturübersicht über die Zinkkonzentrationen in Zähnen - S. 64
21. Zahnzinkkonzentrationen in durchgebrochenen und retinierten Zähnen (92,93,127) - S. 67
22. Mineralische und organische Bestandteile im Dentin und Schmelz (12,28) - S. 69
23. Literaturübersicht über die Selenkonzentration in Zähnen - S. 71



Abbildungen:

1. Vergleich der Elementkonzentrationen aus Duisburg und Köln in Lungengeweben (111) - S. 13
2. Periodensystem der Elemente mit Markierung der essentiellen Spurenelemente (67) - S. 15
3. Allgemeine und lokale Einflüsse auf den Zahn (8) - S. 46
4. Methoden operativer Entfernung von Weisheitszähnen (78) - S. 52
5. Gamma-Energie-Teil-Spektrum einer Eisensonde (schematisch) - S. 55
6. Zahnzinkkonzentrationen in retinierten Weisheitszähnen aus Aachen und Duisburg - S. 62
7. Spektrum einer Zahnprobe - S. 74

E I N L E I T U N G =====

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts waren nur Eisen und Jod als essentielle Spurenelemente bekannt. Heute kennt man bereits fünfzehn essentielle Spurenelemente: Eisen, Zink, Kupfer, Mangan, Kobalt, Jod, Molybdän, Selen, Chrom, Zinn, Fluor, Nickel, Arsen, Vanadium und Silizium. Diese sind in spezifischen Konzentrationen für einen physiologisch-biochemischen Ablauf des Stoffwechsels notwendig. Durch mangelnde bzw. fehlende Spurenelemente treten binnen kürzester Zeit Stoffwechselstörungen auf, die in der Regel chronisch verlaufen; anderenfalls handelt es sich um genetisch bedingte Erkrankungen. Werden Konzentrationsschwankungen mit Schwellgrenzen registriert, so sind diese physiologisch bedingt, da Ruhestellung, Arbeitsleistung, Nahrungsaufnahme und die Einnahme von Medikamenten den Elementhaushalt beeinflussen.

Der Ausdruck "Spurenelemente" ist historisch zu sehen. Dieser Begriff geht auf die Zeit zurück, als man nichtmeßbar kleine Mengen als Spurenelemente bezeichnete, weil deren Konzentration gering war. Die wesentliche Verbesserung und Weiterentwicklung auf dem Gebiet der Kernphysik, speziell der Analysetechnik, ermöglichte die weitere Senkung der Nachweisgrenzen dieser Spurenelemente. Als technische Hilfsmittel verwendet man heutzutage unter anderem die Atomabsorptionsspektrometrie und die Neutronen-Aktivierungsanalyse.

Zur Beurteilung untersuchter Proben ist jedoch das Vorhandensein von Normalwerten der entsprechenden Elemente in den einzelnen Organen oder Körperflüssigkeiten unerläßlich. Die teilweise große Streuung der Normalwerte ist durch eine Reihe von Faktoren zu erklären, so z. B. durch die o. g. verschiedenen Analyseverfahren mit den verschiedenen Entnahme- oder Aufbereitungstechniken von Proben. Neben diesem Faktor ist die Spurenelementkonzentration offensichtlich auch teilweise vom Alter der untersuchten Patienten abhängig. So konnten Persigehl et al. (1977) für Se und Zn in einigen Organen eine Altersabhängigkeit nachweisen (110).

Von weiterer Bedeutung ist die von Schicha et al. 1974 (116) nachgewiesene inhomogene Verteilung von Spurenelementen innerhalb der Organe; zudem werden die Elementkonzentrationen durch verschiedene Umwelteinflüsse, insbesondere durch die verschiedenen geographischen Verhältnisse, beeinflußt. Zu beachten ist neben den geographischen Gegebenheiten weiter der Einfluß der regional unterschiedlichen Industrialisierung. Unter den fünfzehn bisher als essentiell identifizierten Spurenelementen können alle, wenn in ungeeigneter Menge aufgenommen, akute Vergiftungen oder chronische Schäden verursachen (8). So ist Kobalt im Vitamin B12 ein unentbehrlicher Nahrungsfaktor, ohne den man einer perniziösen Anämie erliegt, und doch vergifteten Kobaltsalze die Gewebsatmung (8). Chrom ist unentbehrlich für den normalen Kohlenhydratstoffwechsel, und doch verursacht es in 6-wertiger Form und höherer Dosierung Wachstumsdepression, Leber- und Nierenschäden und möglicherweise sogar Lungenkrebs (8).

Das Ziel dieser Arbeit soll eine Aufzeichnung unterschiedlicher Konzentrationen der Spurenelemente Zink und Selen (32) in Zahnhartsubstanzen liefern, die durch Umwelteinflüsse in verschiedenen industrialisierten Regionen verursacht sind. Es soll also, mit anderen Worten gesagt, dargestellt werden, daß unterschiedliche "Milieu-Einflüsse" eine spezifische Einlagerung von Spurenelementen in einer sonst nicht gewohnten Menge bewirken.

Menschen, die die größte Zeit ihres Lebens in stärker industrialisierten Regionen verbringen, stehen in der Gefahr, über die Norm erhöhte Mengen von Spurenelementen aufzunehmen. Diese Inkorporation von Giftstoffen verläuft über die Inhalation der Schwebstoffe der Luft, über die Nahrungskette Pflanzen-Tiere-Mensch und über die Aufnahme von Trinkwasser.

Akkumulationen von Spurenelementen, insbesondere von Metallen, können schwere gesundheitliche Schäden verursachen (107, 108). Einigen Fällen von Berufskrankheiten liegt dieser Sachverhalt

zugrunde. Solche Erkrankungen werden durch Inkorporation relativ großer Mengen an Arsen, Blei, Chrom, Mangan, Quecksilber oder Cadmium in verhältnismäßig kurzer Zeit hervorgerufen. Einschränkend muß man aber festhalten, daß eine solche Diagnose bei einer so relativ kleinen Menge von Spurenelementen in ohnehin längeren Zeiträumen nicht immer eindeutig zu stellen ist. Die Folgen einer durch die Umwelt bedingten, meist auch unbemerkt chronisch verlaufenden Inkorporation sind weitgehend unbekannt.

Es besteht jedoch die Annahme, daß nach größeren Intervallen der Inkorporation schwere Erkrankungen auftreten und, wie von Hueper und Conway (59) vermutet, frühere Akkumulationen auch nach langen Latenzzeiten von 20 - 30 Jahren zu erkennbaren Schäden führen können.

Es ist erfreulich festzustellen, daß auch in Deutschland diese Gefahr erkannt worden ist und bereits chemische Untersuchungsämter und andere Institutionen damit beschäftigt sind, Qualitätskontrollen hinsichtlich von Spurenelementen in Lebensmitteln, Wasser, Fleisch und Fisch durchzuführen.

Welche Bedeutung Konzentrationsunterschiede eingelagerter Elemente bei Menschen haben, kann am besten anhand einer Population, deren Mitglieder für viele Jahre in einer bestimmten Region gelebt haben, studiert werden. Zur Überprüfung der umweltbedingten Akkumulation von Spurenelementen sollten Zähne aus dem Duisburger und Aachener Raum als Standorte mit relativ differenter Industriestruktur zum Vergleich herangezogen werden. Wie die auch schon von Persigehl et al. (Abb. 1) durchgeführten Untersuchungen an Lungenproben von Patienten zwischen 50 und 68 Jahren, die zeitlebens im Industriegebiet Duisburg bzw. in der weniger industrialisierten Kölner Umgebung wohnhaft waren, zeigten, können differente Einlagerungsquoten beobachtet werden.

Persigehl et al. ermittelten eine deutliche Anreicherung der nicht-essentiellen Elemente Sc, Al, und Cs sowie des essentiellen Elements Co in den Duisburger Proben. Die Unterschiede bei den übrigen untersuchten Elementen sind nur gering.

In meiner Promotionsarbeit möchte ich auf der Grundlage dieser von Persigehl et al. (111) durchgeführten Studie meine Untersuchung auf die Akkumulation von Zink und Selen als Umweltschadstoffe in Zahnhartsubstanzen richten.

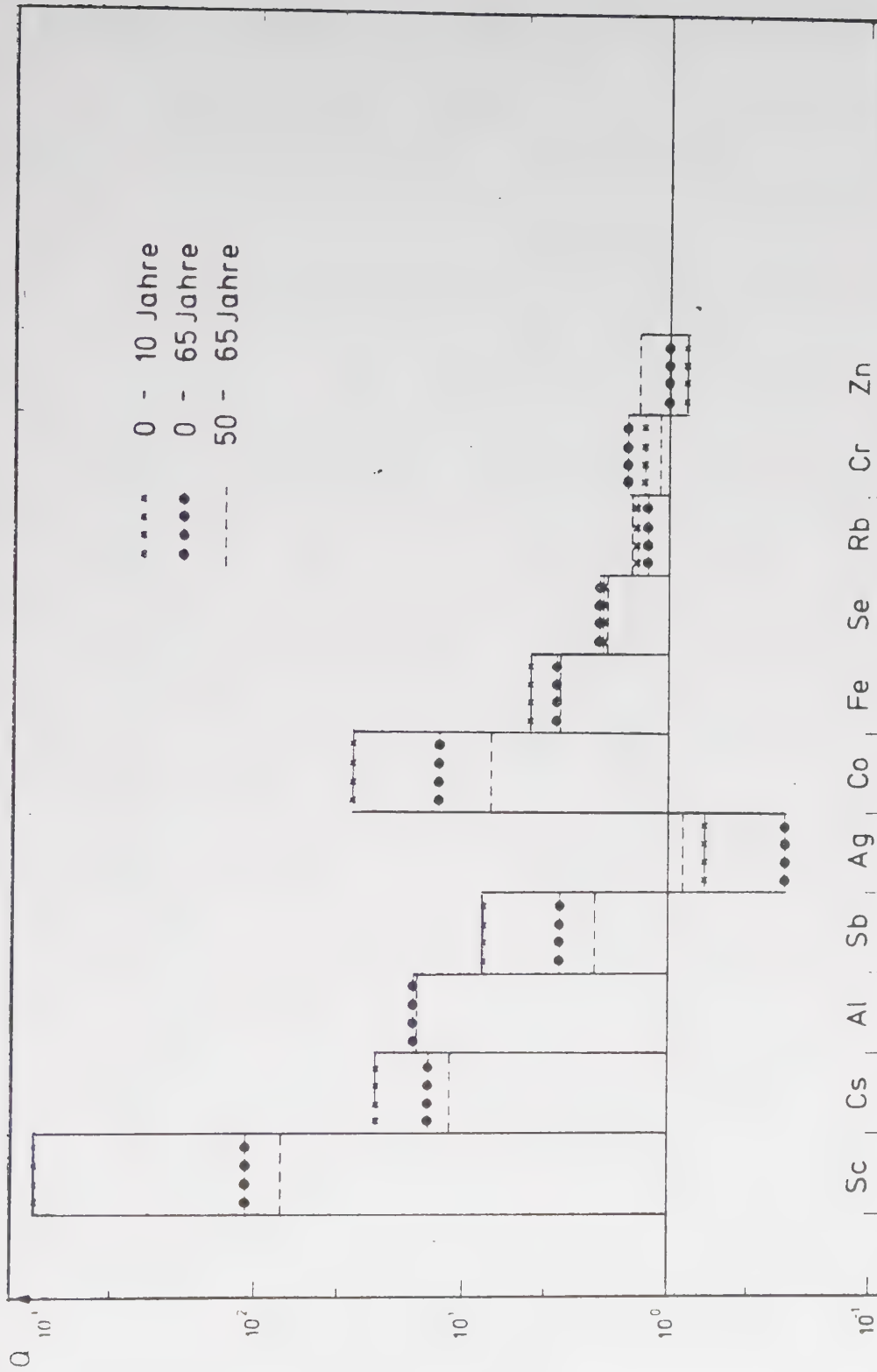


Abb. 1: Vergleich der Elementkonzentrationen aus Duisburg und Köln

$$Q = \frac{\text{Elementkonzentration der Lungenproben aus Duisburg}}{\text{Elementkonzentration der Lungenproben aus Köln}}$$

1. Spurenelemente und ihre Bedeutung

Spurenelemente übernehmen wichtige Aufgaben als Stabilisatoren, sind Bauelemente in Vitaminen und Hormonen und wirken als Koenzyme oder direkt als Katalysatoren im Stoffwechsel. Essentielle Spurenelemente fungieren als Inhibitoren bzw. fakultative Aktivatoren bzgl. der Stoffwechselfunktionen im Enzym selbst. Werden die entsprechenden Spurenelementatome durch Atome eines anderen Elements ersetzt, so werden die Enzyme entweder inaktiv, oder sie haben eine andere Wirkung. Als Spurenelemente mit einer für den Menschen essentiellen biologischen Bedeutung gelten die in Abb. 2 markierten Elemente. Normalerweise beträgt die Menge eines einzelnen Spurenelements im Organismus weniger als 10 g.

Die Normalkonzentrationen sind von Element und Organ abhängig. Eine breite physiologische Streuung von Spurenelementkonzentrationen sowohl im biologischen Gewebe, als auch in der Körperflüssigkeit wird durch Einflüsse der geographischen Situation, durch Luft- und Trinkwasserverunreinigungen, Nahrungszufuhr, Alter, Geschlecht, Arznei- und Gebrauchsmittel und durch metallhaltige Zahnfüllungen speziell bei Zahnhartsubstanzen verursacht. Neben den essentiellen Elementen spielen auch die nicht-essentiellen Elemente bei Fragen der Umweltforschung eine bedeutende Rolle. Im Rahmen der zunehmenden Industrialisierung und der damit verbundenen Umweltverschmutzung steigt ihre Konzentration in Luft und Wasser und damit auch in Pflanzen, Tieren und Menschen an. Eine extensive Anhäufung insbesondere von nicht-essentiellen Elementen in menschlichen Organen, wobei die luftleitenden Organe und die Lunge wohl besonders betroffen sind, wird in der Zukunft entscheidende Effekte bzgl. der menschlichen Gesundheit herbeiführen. Die Bedeutung der Spurenelemente für die Gesundheit des Menschen ist im Rahmen einiger Berufskrankheiten, die z. B. im Zusammenhang mit As, Pb, Cr, Mn, Hg oder Cd stehen, anerkannt (Tab. 1-3).

Eine große Zahl von in der Industrie verwandten Chemikalien und auch von Medikamenten beeinflussen über Schwermetallvergiftungen ebenfalls die Mundschleimhaut und rufen Glossitis, Stomatitis, Gingivitis, Nekrosen, aber auch Farbveränderungen (Wismutsaum, Bleisaum, Quecksilberstomatitis) hervor(135).

Dabei handelt es sich meist um Einlagerungen relativ großer Mengen dieser Elemente an Stellen mit verlangsamter Strömungsgeschwindigkeit in verhältnismäßig kurzen Zeiträumen. In der Mundhöhle entstehen in den Schlupfwinkeln des marginalen Paradontiums (= Gingivalsaum) durch Verbindung von Schwefelwasserstoff mit dort etwa vorhandenen Schwermetallen unlösliche Sulfide, die sich als schwarzer oder bräunlicher Saum am Zahnfleischrand ablagern. Die genannten Schwermetalle sind Kapillargifte und verstärken den bereits in der normalen Gingiva vorhandenen prästatistischen Zustand, wodurch eine mehr oder weniger schwere Form der Gingivitis entsteht. In leichten Fällen bildet sich eine Gingivitis simplex oder ulcerosa aus; in schweren Fällen, besonders bei Quecksilbervergiftungen, eine Stomatitis ulcerogangraenosa (79).

Wenn auch einige Spurenelemente als nicht-essentiell anscheinend bedeutungslos sind, so kann ihre Wichtigkeit jedoch nicht minimiert werden, weil ihre Anwesenheit in einem Organ als Resultat die Induktion eines malignen Tumors zur Folge haben kann. Diese, in der Verbindung mit einer Reihe organischer Komponenten, wie da sind, z. B. aromatische Amine, Nitrosamine, polyzyklische Hydrokarbonate u. a., können Krebs induzieren (Hueper und Conway, (59)). In die Liste der evtl. potentiellen Karzinogene sind Al, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Ag, Cd, Sn, Hg und Pb aufzuführen. Einige dieser Agentien mögen zwar keine richtigen Karzinogene sein, doch fungieren sie als eine Art nicht-spezifischer Reizmittel.

ERKRANKUNG	ELEMENTE
MALIGNOME	As, Cr, Ni, Be, Cd, Pb, Co
HYPERTONIE	Cd
KREISLAUFERKRANKUNGEN	Cd, WASSERHAERTE
HERZINFARKT	Mn, Ni
ARTERIOSKLEROSE	Zn, V, Cr
HYPERCHOLESTERINAEMIE	V
DIABETES MELLITUS	Cr
ULZERATIONEN	Zn
CYSTISCHE FIBROSE	Cu
P.c.P.	Zn, Cu
MUSKELDYSTROPHIE	Se

Tab. 1: Erkrankungen mit pathophysiologischer Beziehung zu Spurenelementen

E N Z Y M	A K T I V I E R T durch	G E H E M M T durch
Enolase	Co, Zn, Mn, Mg, Fe, Cd -	Be, Hg, Cd, Ba, Sr, Ca
Carnosinase	Co, Zn, Mn, - - Cd -	Be, Hg, Ni, Fe
Arginase	Co, - Mn, - - - Ni	-
Oxalatdekarboxylase	Co, Zn, Mn, - Fe, Cd, Ni	-
Karbopeptidase A	Co, Zn, Mn, - Fe, Cd, Ni, Hg	Cu, Hg, Cd, Pb
Karbopeptidase B	Co, Zn, - - - Cd -	Cd
Karboanhydrase	Co, Zn - - - -	Cu

Tabelle 2 : Aktivierung und Hemmung verschiedener Enzyme durch Spurenelemente

Einige Krankheiten, bei denen Zn, Cu und Se vom Normbereich abweichen (Tab. 3)

Krankheit	Art der Probe	Zink	Kupfer	Selen	Literatur
Acrodermatitis enteropathica	Serum	—			Moynahan, 1973 Lombeck, 1975
Akute Infektionen	Serum	—			Pories, 1967
unbeh. perniziöse Anämie	Serum	—			Talbot, 1960
Leberzirrhose	Serum Vollblut	—		—	Halsted, 1968 Shamberger, 1973
Hepatitis	Vollblut			—	Shamberger, 1973
Myocardinfarkt	Serum	—	+		Pojer, 1960 Adelstein, 1962
Myxödem	Serum	—			Wolff, 1956
Hyperthyreose	Serum	+			Wolff, 1956
Hypertonie	Serum	+			Schroeder, 1965 Wolff, 1956
Menke's Kinky Hairsyndrome	Serum		—		Danks, 1972
Morbus Wilson	Serum		—		Henke, 1971a
Rheumatismus	Serum	+	+		Danys, 1971
Gelenkrheumatismus chronisch	Serum		+		Plantin, 1965
Entzündungen	Serum		+		Plantin, 1965
Leukämie	Serum	—	+		Vikbiadh, 1951 Keiderling, 1953
Lymphogranulomatosen	Serum Vollblut		+	—	Keiderling, 1953 Shamberger, 1973
bösartige Tumore	Serum	—			Addink, 1959 Rosner, 1968
Bronchialkrebs	Serum		+		Keiderling, 1953
Magenkrebs	Vollblut			—	Shamberger, 1973
Magen- und Darmkrebs	Serum		+		Keiderling, 1953
Colon-Carzinom	Vollblut			—	Shamberger, 1973
Lebermetastasen	Vollblut			—	Shamberger, 1973
Pankreas-Carzinom	Vollblut			—	Shamberger, 1973
Pankreasinsuffizienz	Pankreassaft	—			Persigehl, 1974b

(—) = erniedrigt (+) = erhöht

Armstrong (1) berichtet von karzinogener Wirkung von As, Cr und Nickel, während die Elemente Cd, Be, Pb als Krebs-erzeuger hochverdächtig sind. Daß reines metallisches Quecksilber und eine Menge seiner Verbindungen Krebs auslösen können, wird von Parizek (106,107) bestätigt. Das gleiche gilt für Kadmium in Form von metallischem Puder, Oxid, Sulfid sowie in seiner löslichen Form.

Bösartige Tumoren wurden bereits von mehreren Forschungsgruppen auf ihren Spurenelementgehalt untersucht. Doch zeigte sich, daß die Ergebnisse bisher sehr unterschiedlich waren und sich teilweise erheblich widersprachen. Eine Beurteilung von Spurenelementkonzentrationen in Tumoren ist nur möglich, wenn das jeweilige Ausgangsgewebe zum Vergleich herangezogen wird (117). Daneben spielt auch die Tatsache eine Rolle, daß Spurenelementkonzentrationen in allen biologischen Geweben erheblichen Schwankungen unterworfen sind, deren Ursache sehr wahrscheinlich funktioneller Natur ist, bedingt durch Strukturunterschiede unter gleichzeitiger Beteiligung mehrerer essentieller Spurenelemente (117). Hierfür sprechen teilweise parallelverlaufende Konzentrationsunterschiede der essentiellen Spurenelemente im Gegensatz zu den nicht-essentiellen.

In welchem Bereich die optimale Zufuhr an Spurenelementen beim Menschen liegt, darüber geben Fox und Mertz (39) in Tabelle 4 Auskunft. So konnte Mertz in seinen Untersuchungen in den USA feststellen, daß ein Großteil der Bevölkerung im Zustand eines latenten Spurenelementmangels lebt. Die im zunehmenden Maße erkannte Bedeutung der Ernährung gebietet die Berücksichtigung aller lebensnotwendigen Nahrungsbestandteile. So wurden Lungenkrebs und Arteriosklerose mit den folgeschweren Komplikationen an Herz und Hirn und anderen Organen mit einer Fehlzusammensetzung der Spurenelemente in der Nahrung erklärt (9).

Kasperek (71) definiert zwei mögliche Ursachen pathologischer Zustände, wobei die eine Möglichkeit eine primäre Veränderung des physiologischen Gleichgewichts über sekundär gestörte Stoffwechselabläufe ist, die zu einer Spurenelementverschiebung führt. In der zweiten Variante führen die vermehrte oder mangelhafte Zufuhr und die Resorption eines Spurenelements bzw. dessen verhältnismäßig zu hohe oder zu niedrige Ausscheidung zu pathologischen Stoffwechselveränderungen (71). Auch die Art der Resorption eines Elements, ob oral, parenteral, pulmonal oder perkutan, kann Ausmaß, Art und Ort einer möglichen Schädigung determinieren.

Genauere Aussagen über den Metabolismus der Spurenelemente im Organismus sind aufgrund sehr mangelhafter Informationen mit Ausnahme bzgl. Jod und Eisen schwierig. So fehlen für einige Elemente genauere Angaben über Resorptionsgrößen, Ausscheidungsraten, Poolgrößen, Transportmechanismen und Speichervorgänge.

Erste Fortschritte in der Annäherung an diese Problematik wurden erzielt, als ein regelrechter Antagonismus zwischen den Elementen Kupfer und Zink bzw. Kadmium während der intestinalen Resorption beobachtet wurden. Ähnliche Interferenzen sollen bei einer Reihe weiterer Elemente, so z. B. bei Mn und Se, Mo mit Cu und Sulfat, bestehen. Im Gegensatz zu Erkrankungen in Verbindung mit bekannter klinischer Symptomatik ist die Erkennung von Schädigungen durch chronische und meist unbemerkte Inkorporation relativ kleiner Spurenelementmengen über längere Zeiträume sehr problematisch.

Langzeitige Einflüsse schließen das Alter, Geschlecht, geographische und Umgebungsfaktoren, Gewohnheiten, Nahrung, Schwangerschaft und Stillung mit ein. Viele dieser Faktoren können das analytische Ergebnis verändern. Das Alter der ausgewählten Patienten ist ein bedeutender Faktor in der Elementanalyse, da Veränderungen in den Elementkonzentrationen

ELEMENT	OPTIMALE MENGE / DIE (MG)	
	NACH FOX	NACH MERTZ
Fe	10 - 18	0,5 - 18
Zn	6 - 15	15 - 20
Mn	1,25 - 6,5	2 - 7
Cu	1,0 - 3,8	2
F	0,5 - 1,7	1
J	0,1 - 0,14	0,1 - 0,15
Mo	0,1	-
Cr(III)	0,06 - 0,36	0,1
Se	0,03 - 0,05	0,1
Co	0,015- 0,16	-

Tab. 4: Optimale tägliche Zufuhr von Spurenelementen beim Menschen nach Fox und Mertz

als eine Funktion des Alters angenommen werden (65). Das beste Beispiel für Unterschiede bzgl. des Geschlechts zeigt, daß der Eisengehalt in der Leber des Mannes eine höhere Konzentration zeigt als der der Frau. Der Einfluß von geographischen und Umweltfaktoren basiert auf der fortwährenden Inhalation von industriell verunreinigter Luft und auf der Verseuchung des Bodens. Das kann zu einem Wechsel der Spurenelementkonzentrationsverhältnisse bei verschiedenen Elementen in verschiedenen Geweben führen.

Veröffentlichungen aus Japan berichten über eine erhöhte Akkumulation von Cd durch verseuchtes Trinkwasser und verseuchte Meeresfrüchte, die zu einer gesundheitsgefährdenden Aufnahme dieser Giftstoffe geführt haben. Ferner ist bekannt, daß auf verschiedenen Bodentypen gewachsene Nahrungsmittel Änderungen von Spurenelementkonzentrationen hervorrufen. So sind z. B. der niedrige Gehalt von Selen im Blut der Einwohner Neuseelands (46) und amerikanischer Frauen (66), sowie von Quecksilber in Milch (40) und regionale Differenzen von Cu und Zn im Plasma (80) gute Indikatoren dieses Problems.

Nahrungsmittel bilden, wie gesagt, ebenfalls einen entscheidenden Faktor für die Aufnahme von verschiedenen Elementen. Doch werden im allgemeinen Spurenelemente nur in geringem Maße vom Blut absorbiert. So wird z. B. bei Cr, Fe, Mn, Ni und Sn mit einer kleinen Resorption gerechnet. Die Daten von Fluor hingegen bestätigen einen raschen und kurzen Einfluß auf die Plasmafluoridkonzentration. Im Kontrast dazu stehen auch die verstärkte Aufnahme und Konzentration von Jod im Blut und in Geweben, vorausgesetzt, daß die Konzentration in Nahrungsmitteln ebenfalls hoch lag (17); gleiches wird ebenfalls von Zn im Menschen (133, 144), von Cd in Lämmern (30) und von Selen in Hamstern (50) berichtet.

Der Konsum von Alkohol und Zigaretten sind wohl zwei bedeutende Beispiele für Gewohnheiten, die individuelle Variationen des Spurenelementhaushalts bewirken.

Alkoholismus führt zu pathologischen Veränderungen und ist deshalb für allgemeine spurenelementanalytische Aussagen unbrauchbar. Der Zigarettenkonsum korreliert mit der Elevation von Cd im Blut (136, 137, 138). Durch andere Studien ist bekannt geworden, daß die Bleikonzentration in den Rippen von Rauchern deutlich erhöht war.

Einige dieser Metalle haben signifikante biologische oder physiologische Bedeutung erhalten, vielleicht wegen ihrer toxischen Effekte, bzw. ihrer Inhibition von wichtigen Enzymen. Die Akkumulations-Metalle sind nach Tipton (141): Be, Al, Si, Ti, V, Cr, Ni, As, Se, Sr, Ag, Cd, Sn, Ba und Au. Obwohl sich diese Elemente gleichmäßig über den Körper verteilen, zeigen einige Metalle die Neigung, sich in spezifischen Geweben einzulagern (62). Einige dieser Informationen verdankt man der Neutronenaktivierungsanalyse. Mit der Induktion verfeinerter analytischer Techniken erhält man genauere Ergebnisse über die Einlagerung bzw. Konzentration von Spurenelementen in den spezifischen Geweben.

2. Einfluß von Spurenelementen auf die Mineralisation von Zähnen

Zähne differieren in ihrer Anfälligkeit gegenüber Karies; das hängt zum einen vom Beginn und der Entwicklung der Zahnzerstörung ab, und zum anderen spielen die bakterielle Plaque und die Struktur des Zahnes eine bedeutende Rolle. Ob der anorganische oder organische Anteil der Zahnhartsubstanzen für die Widerstandskraft gegen eine kariöse Läsion verantwortlich ist, konnte bisher nicht eindeutig geklärt werden. Obwohl die organischen Komponenten in relativ kleiner Zahl vorhanden sind, speziell im Schmelz, hat sich nun bestätigt, daß sie eine bedeutende Rolle in der Bildung des Zahnes spielen und vielleicht auch Einfluß auf die Kariesanfälligkeit besitzen (82). Der überwiegende Anteil besteht hingegen aus anorganischen Substanzen. Besondere Bedeutung gilt den Elementen Phosphor und Kalzium, weil sie den Hauptanteil der in den Zähnen vorkommenden Elemente bilden. Eine differente funktions- und strukturabhängige Einlagerungsspezifität und -geschwindigkeit von Elementen wurde vielfach bestätigt.

Die zunehmende Anfälligkeit von Zähnen gegenüber Karies sollte eine genauere Abwägung über die Rolle der Spurenelemente in Zahnhartsubstanzen und deren Studium zur Folge haben.

Seit 1957 werden zahlreiche Untersuchungen über schädliche und essentielle Effekte von verschiedenen Spurenelementen veröffentlicht. So konnten Sobel und Hanok (126) in einer Untersuchung über eine PO_4/CO_3 -Relation im Serum berichten, die sich in der Komposition des Schmelzes und Dentins widerspiegelt. Trotzdem läßt sich eine Konstanz im Ca/P und Ca/H-Verhältnis als Prinzip in der Zahnstruktur dieser Substanzen erkennen (126). Durch Analyse von Schmelz- und Dentinproben ist die Identifikation der Spurenelemente im Zahn möglich; sie soll Aufschluß über eine Assoziation von evtl. hoher

oder niedriger Kariesanfälligkeit geben. Doch der Gedanke, daß verschiedene spezifische Substituenten das Apatitgitter so konzipieren könnten, daß es vor chemischen und physiko-chemischen Kariesfaktoren beständiger würde, beschäftigt schon seit Jahrzehnten die Wissenschaft.

Die Prädikation einer Kariesaktivität ist von einer Reihe folgender Faktoren abhängig, die allein oder in einer Kombination zu einer Änderung des Zahnmilieus führen: *Streptococcus mutans*, Speichelqualität und -quantität, Pufferkapazität, Speichel-pH, die Anwesenheit von Plaque und die Zahnschmelzqualität (als Resultate einer genetischen Modifikation). Dies sind wohl die entscheidendsten Faktoren für die Induktion einer kariösen Zerstörung. Natürlich spielen Ernährung, Zahnpflege und sogenannte "habits" ebenfalls eine große Rolle.

Auermann (2) zeigte, daß der Schmelz und nicht das Dentin als eine semipermeable Membran angesehen werden kann. Der Passage von großen Molekülen leistet der Schmelz Widerstand, nicht hingegen kleinen Ionen. So ist es zu verstehen, daß Füllungsmaterialien wie Silber, Zink und Zinn in die Zahnstruktur einwandern können (49). Differentielle Zonen von verschiedener Permeabilität im Zahn können vielleicht einen Hinweis für Prädispositionsstellen für Karies geben.

Dedhiya et al. (29) bewiesen, daß ein möglicher Mechanismus, der während der initialen Phase des Kariesprozesses die Zersetzung der Hydroxylapatitkristalle auslösen kann, durch die Inkorporation von Spurenelementen in den Zahnschmelz während der Entwicklungs- und Mineralisationsphase bzw. durch einen Wechsel im Spurenelementgehalt hervorgerufen werden konnte. Diese Theorie wurde durch Untersuchungen bzgl. des Spurenelementgehalts von Strontium und Fluor in ihrer Wirkung auf eine Kariesreduktion von Dedhiya et al. (29) untermauert.

Es gilt die Feststellung, daß einige Ionen eine Induktion der Kariesaktivität durch Änderung der Säurelöslichkeit der Zahnhartsubstanzen bewirken. Die elektronenmikroskopischen Untersuchungen (18) des Schmelzes zeigen wohldefinierte, geordnete Anordnung eines Hydroxylapatitgitters. Um diese Areale wohlausgerichteter Mikroskristalle sind Zonen mit weniger mikrokristalliner Struktur. Dies könnte einen Hinweis auf Störungen der Entwicklung und der Ausbildung mikrokristalliner Strukturen durch Inkorporation von Schwermetallen geben.

Analysen kariesresistenter Zähne zeigten einen größeren Anteil geordneter, besonders axial gerichteter Mikroskristalle als kariesaktive Zahnhartsubstanzen. Cevc et al. (18) bezeichnen den Grad der Hydroxylmikrokristallausrichtung als ein individuelles Vermögen, welches eine Resistenz gegen Zahnzerstörung determiniert. So scheinen entweder nutritive oder genetische Faktoren oder beide für die Entwicklung und Mineralisation der Mikrokristallstrukturen verantwortlich zu sein.

Abfallende Härtewerte gehen zum Teil auf Mineralisationsstörungen (147) zurück, weil diese eine Veränderung der Struktur der Zahnhartgewebe miteinschließen. Diese Verminderung der Härte führt mit fortschreitender funktioneller Belastung des Gebisses zu Zahnkronenzerstörungen unterschiedlichen Grades, wobei selbstverständlich die Dauer der Demineralisation und die daraus resultierenden unterschiedlichen großen mineralisierten Zahnareale einen Einfluß auf den Zahnzerstörungsgrad haben. Außerdem resultiert aus der veränderten Qualität verschiedener Schmelz- und Dentinbereiche eine erhöhte Kariesaktivität, denn diese korreliert zugleich mit einer Erhöhung der Säurelöslichkeit der Zahnhartsubstanzen.

An karies-suszeptiblen Ratten wurden von Shaw (121) die entwicklungsbedingten und postentwicklungsbedingten Einflüsse von Nahrungsbestandteilen verschiedener mineralischer Salze auf experimentelle Kariesauslösung hin untersucht.

Bei unterschiedlichen Konzentrationen von Natriumchlorid, Bariumchlorid, Vanadiumpentoxid und Vanadiumsulphat, die an Ratten verfüttert wurden, konnte kein statistisch signifikanter Einfluß auf den Kariesumfang nachgewiesen werden. Dagegen zeigten Natriumborat und Strontiumcarbonat als Nahrungsbestandteile eine instabile Reduktion (121) der Kariesaktivität. Lithiumcarbonat hingegen bewirkt, nach der Entwicklungsphase verabreicht, eine konstante Reduktion, was für Ammoniummolybdat unter gleichen experimentellen Gegebenheiten ebenfalls gilt. Die Nahrungsbestandteile wie Natriumchlorid, Lithiumcarbonat, Strontiumcarbonat und Ammoniumparamolybdat geben einen entscheidenden Hinweis auf die Kariesanfälligkeit der betroffenen nachfolgenden Tiergeneration (121).

Kollaborative Studien in den USA mit geographisch unterschiedlichen Gegebenheiten zeigten, daß dort, wo das Trinkwasser mehr Bor, Lithium, Molybdän und Strontium bzw. Fluoride enthält, die Kariesresistenz um ein Vielfaches gesteigert war. Das konnte ebenfalls in einem Rattenversuch nachgewiesen werden. In einer Studie von 1965 (51) in Ohio wurde dargestellt, daß durch die gegebene örtliche Lage die Aufnahme von Spurenelementen dieser Art durch Nahrungsmittel und Trinkwasser über das an vergleichbaren Orten erreichte Maß hinaus zu einer verringerten Kariesanfälligkeit führte. Die von Hadjimarkos (51) durchgeführten Untersuchungen über die schädlichen Effekte von Selen ließen nach Prüfung dieser Resultate als erste Ergebnisse erkennen, daß Selen einen positiven Effekt auf die Kariesaktivität hat.

Zusammenhänge zwischen Selen und Karies untersuchten auch Cadell und Cousins (16) 1960. In ihrer Studie untersuchten die Autoren Kinder im Alter zwischen fünf und vierzehn Jahren, und zwar an zwei verschiedenen Standorten. Sie konnten nach der von ihnen durchgeführten Zahnoberflächenuntersuchung keine bedeutungsvolle Differenz der Zahl der von Karies befallenen Zähne feststellen.

Bowen (11) fand bedeutend höhere Selen-Konzentrationen in der Plaque in einer "high-caries-group" bei Affen. Selen mag deshalb verschiedene Effekte auf Karies haben, abhängig davon, in welcher hohen Konzentration dieses Spurenelement im Zahnschmelz bzw. im oralen Milieu, so z. B. in der Zahnplaque vorkommt. So konnten Leicester und Thomassen (81) im Zahn einen unterschiedlichen Gehalt von Selen im Schmelz und Dentin feststellen. Diese Indices der möglichen unterschiedlichen Retention könnten allem Anschein nach durch die unterschiedliche prozentuale organische und anorganische Verteilung in Schmelz und Dentin, möglicherweise durch das Protein, verursacht worden sein.

English (34) fand, daß eine große Dosis von Selenverbindungen zu einer strukturellen Veränderung im Dentin und Variationen in Stellung und Gestalt der Unterkieferkondylen führt. Eine Selen-Anwesenheit soll die Toxizität von Thallium, Silber, Cadmium und Quecksilber senken. Damit könnte ein erhöhter Gehalt an bestimmten Spurenelementen über die Kariogenese hinaus bei der Detoxikation anderer toxischer Metalle, z. B. Selen, eine wichtige Rolle spielen. Von weiterer Wichtigkeit ist die Selen-Anwesenheit, weil Selen in Zähnen eine erhöhte Kariesaktivität bewirkt.

Ein kariesinhibitorischer Effekt durch Fluoride wird bei allen Kindern festgestellt, die Wasser trinken, dessen Fluoridgehalt bei 0,6 - 2,6 ppm liegt (Tab. 5). Grenby (45) erklärt die positive Wirkung mit Fluoriden so, daß dem Hydroxylapatit

eine relativ lange Schutzphase vor einer Demineralisation geschaffen wird. Der Haupteffekt der Fluoride liegt in der Reduktion der Säurelöslichkeit der Hydroxylapatitschichten.

Es wurden Spurenelementkonzentrationen verschiedener Wasserproben aus Schulen und Wohnungen speziell kariesresistenter Navy-Rekruten aus dem Nordwesten des Staates Ohio, USA, untersucht (90). Sie wurden verglichen mit: .

a) den Spurenelementkonzentrationen des Wassers aus den öffentlichen Trinkwasserversorgungen der sieben größten Städte des Staates Ohio,

Region/Trinkwasser	Zahl unter- sucht.Kinder	DMFT pro Kind	%-Diff.
selenhaltig, niedrig F	133	10,5	-
nicht selenhaltig, niedrig F	85	8,6	18
selenhaltig, hoch F	94	7,8	-
nicht selenhaltig, hoch F	76	4,6	41

(hoch F = 0,6 - 2,6 ppm; niedrig F = 0 - 0,5 ppm)

Tab. 5: Kariesanfälligkeit - abhängig vom Selen und Fluoridgehalt des Trinkwassers

- b) denjenigen jener Städte der USA, welche die kleinste Kariesprävalenz besaßen, und
- c) den Spurenelementkonzentrationen des Trinkwassers jener Städte der USA, welche die größte Kariesprävalenz des ganzen Landes aufwiesen.

Die statistische Analyse zeigte signifikante Unterschiede in Verbindung mit Fluor, weil es zu einer wesentlichen Verminderung der Kariesrate führte. Gewisse Betrachtungen deuteten darauf hin, daß die Aufnahme der Spurenelemente zum Teil durch die Auswahl von Gemüse als Bestandteil der täglichen Nahrung beeinflußt wird (90). Der Effekt des Kochens von Gemüse ist bzgl. des Erhalts gegebener Spurenelementkonzentrationen in Gemüse nicht bekannt, aber Trelease (143) vermutet, daß eine große Menge des Selens möglicherweise ins Kochwasser diffundiert und dadurch seinen Einfluß verliert.

Losee und Adkins (90) konnten in ihrer Studie als Erklärung für die große Anzahl kariesresistenter Rekruten feststellen, daß sie aus den genannten Gebieten stammten, in denen gleichzeitig erhöhte Konzentrationen mindestens der folgenden Elemente im Trinkwasser vorkommen, und zwar zusammen mit Fluor auch Bor, Lithium, Molybdän und Strontium. In diesem Zusammenhang sollte nicht versäumt werden zu erwähnen, daß Vitamine, speziell die Ascorbinsäure als Nahrungsbestandteil, die Retention und Toxizität von Fluoriden beeinflussen (18). Zur weiteren Darstellung der Komplexität des Spurenelement-Metabolismus sei auf die Studie von Wagner (146) verwiesen, der in Untersuchungen von größeren Einflüssen auf den Fluorid-Stoffwechsel durch die Aufnahme anorganischer Ionen, wie Kalzium, Magnesium und Aluminium, spricht. Es ist wohl bekannt, daß durch diese Ionen, wenn sie in höheren Konzentrationen in Nahrung und Trinkwasser vorhanden sind, die Absorption von Fluoriden zurückgeht (146).

Die folgenden Spurenelemente haben sich nach Aussage mehrerer Autoren (51,57,97,121,139) als kariesinhibitorische Elemente herausgestellt: Molybdän, Vanadium, Magnesium, Bor, Strontium und Lithium. Die experimentellen Studien zeigen erst die großen Schwierigkeiten im Verständnis um den effektiven Mechanismus der dentalen Zerstörung.

Resultate der Untersuchungen lassen erkennen, daß keines dieser Spurenelemente die Utilisation und Absorption von Fluoridionen beeinflusst. Diesbezüglich kommt Crane (22) hingegen zu dem Ergebnis, daß die Anwesenheit von Molybdän zu einer entscheidend höheren skeletalen Retention von Fluoriden führt. Geyer (42) geht von der Vorstellung aus, daß Vanadium zum Teil die Stellung von Phosphorionen im Hydroxylapatit einnehmen könnte, die eine Möglichkeit der Retention darstellt. Vrbic (145) beobachtete eine positive Korrelation zwischen niedriger Karies-Prävalenz und hoher Konzentration von Strontium im Boden. Die Verteilung von Strontium im Zahnschmelz schien für dieses Element ungefähr uniform zu sein. Ähnliche Zusammenhänge bestehen für Aluminium, welches in Regionen niedriger DMFT-Zahlen (decayed, missing, filled teeth) eine hohe Konzentration im Trinkwasser bzw. im Boden zeigte. Über Kadmium ist zur Zeit wenig bekannt, doch Leicester et al. (81) glauben an keine Inkorporation von Kadmium in das Apatitgitter, was daher einen indefinitiven Effekt auf Karies habe. In Tabelle 6 wird die Kariesanfälligkeit in Abhängigkeit von Cd und Pb aufgezeigt.

Low Caries Area (DMFT 4)	High Caries	Low Caries
Cadmium	$0,67 \pm 0,12$	$0,19 \pm 0,03$
Lead	$19,27 \pm 3,65$	$18,08 \pm 2,32$
High Caries Area (DMFT 7)	High Caries	Low Caries
Cadmium	$4,19 \pm 1,27$	$1,27 \pm 0,26$
Lead	$21,32 \pm 4,34$	$16,25 \pm 3,85$

Tab. 6: Kariesanfälligkeit in Abhängigkeit von Cd und Pb im Zahnschmelz ($\mu\text{g/g}$)

Eine Studie von Curzon und Cooker (27) hingegen kann eine mögliche Assoziation zwischen zunehmender Menge Kadmiums in menschlichem Schmelz und Karies aufzeigen.

Wie verworren und komplex die Zusammenhänge und die Verhältnisse der Elemente zueinander zu sein scheinen, zeigt wiederum eine Studie von Parizek (106), nach der bei subkutanen Injektionen von CdCl_2 , die testikuläres Gewebe der Ratten zerstörten, dieser Effekt bei Anwesenheit von Zn aber nicht zur Geltung kam. Weiterhin beschreibt Parizek et al. (105,107) einen protektiven Effekt gegen die Cd-Toxizität bei kleineren Dosen von Selen-salzen. Andere Interaktionen von Cadmium mit Spurenelementen und verschiedenen Stoffwechselabläufen, wobei Cd an die Stelle der Elemente Cu, Zn oder Se in Enzymsysteme trat, wurden ebenfalls von Mills (96) postuliert.

Anhand von den im Trinkwasser vorhandenen Metallionen (Li^+ , K^+ , Mg^{++} , Cd^{++} , Pb^{++} , Pt^{++++} , Pd^{++} , und Au^{++}) fand Wisotzky (148) in Untersuchungen an syrischen Hamstern keinen genauen Hinweis auf eine Korrelation mit einer erhöhten Kariesaktivität. Jedoch entpuppten sich in dieser Untersuchungsreihe Goldchloride als potente Inhibitoren von Karies. Hingegen beschleunigen Platinchloride und Magnesiumsulfate in besonderen Fällen die Kariesanfälligkeit.

Es scheint gesichert, daß eine vermehrte Kariesinhibition kein gemeinsames Vermögen der Metallionen allgemein, sondern eher eine auf bestimmte Elementgruppen beschränkte Eigenschaft ist (148). Eine dieser genannten Gruppen ist vermutlich die Gold-Silber-Kupfer-Gruppe.

Zink wurde im menschlichen Schmelz in ähnlichen Konzentrationen wie die der Fluoride gefunden. Die Anwesenheit von Zink setzt die Säurelöslichkeit des Schmelzes herab (148). Im Rattenversuch war eine suboptimale Zink-Fütterung vor

der Eruption des Zahnes mit einem Anwachsen von vermehrt auftretender Karies verbunden (121). So zeigt nämlich Cruickshank (23,24) auf, welche große Bedeutung Zink bei der Kalzifikation des Zahnes zukommt. Curzon (25) hingegen berichtet von einem positiven Effekt von Zink auf Karies.

Zink kommt sowohl in der Plaque (56) wie auch im Speichel (5,31) vor. Daß Zink Einfluß auf das Wachstum und den Metabolismus der *Escherichia coli* ausübt, ist bekannt, doch weiß man nur wenig über die Wirkung von Zink auf den kariogenen *Streptococcus mutans*. Anders berichten Bates und Navia (5), daß Zink keinen Einfluß auf die orale Flora besitzt, wie sich im Tierexperiment mit Ratten ergeben habe.

In diesem Abschnitt habe ich versucht, einen Einblick in die Vielfalt der Veröffentlichungen zu geben, die sich auf die Bedeutung und Wirkung der Spurenelemente auf eine Kariesaktivierung bzw. -Inhibition bezogen.

Trotz großer Versuchsreihen erweist sich die Auswertung als sehr schwierig und basiert oft auf Vermutungen, so daß Widersprüche nicht die Ausnahme bleiben. Doch scheinen Faktoren wie Fluoridierung, mäßiger Süßigkeitskonsum und gute Zahnpflege als Grundvoraussetzung für eine lange Erhaltung des Zahnes von dem überwiegenden Teil der Autoren anerkannt zu sein.

Tabelle 7 zeigt eine Zusammenfassung über die Korrelation zwischen Spurenelementen und Karies.

ELEMENT/VERBIND.	REDUKTION	AKTIVIERUNG	Keinen signi- fikt. Einfluß
Aluminium	(27,145)		
Ammonium-molybdat			(121)
Bariumchlorid			(121)
Blei		(26)	(10,15)
Bor	(90,97,121,139)		
Cadmium		(26,27)	(81,148)
Eisen	(27)		
Fluor	(27,29,44,51,90,139)		
Goldchlorid	(148)		
Kalziumglyzero-PO ₄	(44)		
Kupfer		(27)	
Lithium u.-Carbonat	(90,97,121,139)		
Magnesium	(97,121,139)		
Magnesiumsulfat		(148)	
Mangan		(27)	
Molybdän	(90,97,121,139)		
Platinchlorid		(148)	
Selen	(27)	(11,51,52, 53,54,60,95)	(16)
Natriumborate	(121)		
Natriumchlorid			(121)
Strontium u. -Carbonat	(27,29,41,90,121,145)		
Vanadium	(42,57,97,121,139)		(140)
Vanadiumsulfat			(121)
Zink	(25,36,148)		

Tab. 7: Korrelation zwischen Spurenelementen und Karies

3. Spurenelemente und Umweltbelastungen

Schon im Mittelalter wußte man, daß neben den seit vielen Jahrhunderten bekannten Giften pflanzlicher und tierischer Herkunft auch Stoffe mineralischen Ursprungs, wie etwa Arsenik, in geringer Menge tödlich wirken können. Ebenso war bekannt, daß so wichtige Metalle wie Quecksilber und in etwas geringerem Maße auch Blei rein und in Form ihrer Salze Menschen und Tieren abträglich sind. Die Toxizität von Blei, Quecksilber und Kadmium wurde jedoch erst in der Metallindustrie durch deren stürmische Entwicklung im 19. Jahrhundert zu einem Problem, als es bei Arbeitern zu massiven Krankheitssymptomen kam.

Aber erst auf wissenschaftlichen Kongressen zu Beginn der siebziger Jahre fand die Gefährdung des Menschen und seiner Umwelt durch Schwermetalle verstärkt Beachtung. Die umstrittenen Fragen sind insbesondere die nach den noch tolerierbaren Konzentrationen in Luft, Boden und Wasser sowie für Nahrungs- und Futtermittel.

Durch spurenanalytische Methoden gelingt es erst in den letzten Jahren, eine systematische Aufklärung des Gehaltes dieser Metalle in den Umweltkompartimenten Wasser, Boden, Pflanzen, Tier, Nahrung, Mensch und ihrer Akkumulation in Abhängigkeit von einer Reihe regionaler Faktoren zu betreiben. Die Belastung des Duisburger Raumes durch die Schwermetalle Blei, Kadmium und Zink geht nicht erst seit einigen Jahrzehnten auf Schwermetall-Emissionen aus derzeitigen Industriegebieten zurück, sondern die Schwermetallkontamination der Böden in Duisburg beruht neben geologischen Gegebenheiten dieses steinkohlenreichen Gebietes auch auf Auswirkungen des seit der Römerzeit betriebenen Steinkohlen- und Erzbergbaues. Nachdem früher Abbau und Verhüttung der Erze in zahllosen Kleinstbetrieben unter primitivsten Bedingungen erfolgten, ist um etwa 1800

die Verhüttung der Erze im großen Maßstab aufgenommen worden. Seither wurden in Duisburg neben kleineren auch große Hütten mit verschiedenen Aufgabenstellungen betrieben.

Aachen hat als alter Kurort am Rande der Eifel die Züge einer Mittelstadt mit vorwiegend ländlicher Struktur behalten. In Aachen-Stadt und Umgebung befinden sich zahlreiche Klein- und Mittelbetriebe, darunter auch Betriebe der metallverarbeitenden Industrie. Eine Ausnahme stellt die Stadt Stolberg mit einer Blei- und Zinkgießerei dar, die 20 km von Aachen entfernt liegt. Ansonsten sind mir Betriebe, die in größerem Umfang Metalle verarbeiten, in diesem Gebiet nicht bekannt.

Durch die zunehmende Luftverschmutzung gelangen auch größere Mengen toxisch wirkender Spurenelemente in den menschlichen Organismus. Die große Gefahr liegt in der umweltbedingten chronischen und unbemerkten Inkorporation relativ kleiner Spurenelementmengen über längere Zeiträume. Solche Elemente können lange im Organismus akkumuliert werden und erst nach einer Latenzzeit von zehn und mehr Jahren zu erkennbaren Krankheiten führen.

Die Belastung durch Schwermetall-Immissionen (Tab. 8) sollte gemäß der Richtlinie 2310 zur Reinhaltung der Luft vom Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen folgende Werte nicht überschreiten:

Blei	2,0 $\mu\text{g Pb/m}^3$
Zink	50,0 $\mu\text{g Zn/m}^3$
Cadmium	0,05 $\mu\text{g Cd/m}^3$

Tab. 8: Richtlinie 2310 Reinhaltung der Luft-NRW

Da eine Belastung des Menschen auch über schwermetallhaltiges Trinkwasser möglich ist, wird von chemischen Untersuchungsämtern die Trinkwasserversorgung regelmäßig überprüft. Für Trinkwasser wurden nach den europäischen Trinkwasserstandards der WHO folgende Werte empfohlen (Tab. 9):

	Cadmium	Blei
WHO 1970/71	0,010 mg/l	0,10 mg/l
WHO 1972	0,005 mg/l	0,05 mg/l

Tab. 9: Empfohlene Grenzwerte für Trinkwasser der WHO

Epidemiologische Untersuchungen sollten vor allem an Kindern durchgeführt werden, weil aufgrund des Wachstums die höchstmöglichen Gefährdungen zu erwarten sind. Hierzu kommt, daß in Gebieten mit bleibelasteter Luft besonders Spielkinder zusätzlich durch bleihaltigen Schmutz überdurchschnittlich gefährdet sind (119,120).

Stärkere Schwankungen im Schwermetallgehalt untersuchter Obst- und Gemüseproben weisen darauf hin, daß neben industriellen Immissionen auch örtliche Faktoren eine Rolle spielen. So wurden unterschiedliche Schwermetallgehalte in den Böden aufgrund geologischer Gegebenheiten sowie Nachwirkungen ehemaliger Bergbau- und Hüttenbetriebe festgestellt.

Kleinkinder- und Grundnahrungsmittel wurden von Stoeppler et al. (Tab. 10) auf ihren Gehalt an Cd, Pb, Cu und Hg bestimmt und im allgemeinen nur sehr geringe Konzentrationen an Cu, Pb, und Hg gefunden. Die Pb-Mittelwerte lagen deutlich unter 100, die Cd-Mittelwerte unter 50 und die Hg-Mittelwerte unter 10 ppb.

Probentyp	Proben- zahl	Cd	Pb	Cu	Hg
Fruchtsäfte	(77)	≤ 2 - 5	<10 - 90	150 - 500	≤2 - 10
Karottensäfte	(23)	7 - 40	<10 - 15	160 - 500	≤2
Karottenzube- reitungen	(4)	10 - 40	<10 - 40	300 - 450	≤2
Mono- und Di- Saccharide	(20)	≤ 2 - 5	≤20	50 - 350	≤2
Oligosaccharide Pulver	(9)	≤2 - 7	≤20	150 -2000	≤2
Oligosaccharide flüssig in Dosen	(4)	≤2	100 - 300	-	≤2
Maisstärkeprod.	(20)	≤ 2 - 7	≤20 - 60	50 -1000	≤2 - 4
Zwiebackprod.	(8)	10 - 50	≤20	800 -1300	≤2 - 5
Getreideprod.	(27)	10 - 50	≤20 - 60	2000 -5000	≤2 - 10
Gemüsebreie	(3)	10 - 30	≤20 - 30	300 - 400	3 - 5

Tab. 10: Spurenelemente in Kleinkinder- und Babynahrung (ng/g)

Menschliche Milch von dreizehn Müttern, wohnhaft in der Region Cincinnati, wurde auf die Elemente Cd, Cu, Fe, Pb, Mn und Zn durch Atomabsorptionspektroskopie analysiert. In Tabelle 11 sind die entsprechenden Werte aufgeführt.

	Min - Max in 10 ⁻⁴ g/g
Cadmium	0,020 - 0,042
Kupfer	0,024 - 1,490
Eisen	0,840 - 19,100
Blei	0,012 - 0,870
Mangan	0,120 - 2,680
Zink	1,340 - 8,600

Tab. 11: Spurenelemente in menschlicher Milch

4. Neutronenaktivierungsanalyse : empfindliche Methode zur Bestimmung der Spurenelemente in Zahnsubstanzen

Die Bestimmung der Spurenelementkonzentration in Geweben und Körperflüssigkeiten gewinnt immer größere Bedeutung, seitdem bei einer Reihe von Erkrankungen eine ätiologische Beziehung zu der Elementkonzentration im Serum und/oder Gewebe aufgezeigt werden konnte. Bei anderen Erkrankungen wurde zumindest der Nachweis einer erniedrigten oder erhöhten Konzentration verschiedener Spurenelemente erbracht. Auch im Rahmen epidemiologischer Studien konnten Spurenelementveränderungen in Organ- und Körperflüssigkeiten, die mit definierten Krankheitsbildern in Zusammenhang stehen, beobachtet werden (72).

Da die in biologischen Proben zu messenden Spurenelementkonzentrationen oft im ng/g-Bereich und darunter liegen, sind für ihre Analyse hochempfindliche Verfahren mit möglichst kleinem Fehler notwendig. Solche Verfahren stellen die Aktivierungsanalyse und die Atomabsorptionsspektrometrie dar. Die hier gewonnenen Daten wurden mittels der Neutronenaktivierungsspektrometrie erlangt. Bei der Aktivierungsanalyse wird eine biologische Probe im Reaktor mit einem hohen Neutronenfluß bestrahlt. Diese Methode wird im Institut für Medizin der KFA Jülich seit vielen Jahren erfolgreich eingesetzt (37,70,73,75,76,87,88).

Durch Neutroneneinfang wird eine Reihe von Elementen radioaktiv und transmutiert, und zwar unter Aussendung von Gamma- und/oder Beta-Energien, die für jedes Nuklid spezifisch sind. Diesen Elementen lassen sich ferner eine spezifische Halbwertszeit und ein spezifisches Spektrum zuordnen. Die Ausmessung der Gammaspektren in den bestrahlten Proben erlaubt die qualitative als auch die quantitative Bestimmung zahlreicher

in der Probe enthaltener Elemente. Diese Technik gehört zu den empfindlichsten Nachweisverfahren. Es ist ein besonderer Vorzug der Aktivierungsspektrometrie, daß der Einfluß solcher Elemente, die in biologischen Geweben in hohen Konzentrationen vorliegen und die Analyse stören, wie z. B. Bau- und Mineral-elemente, teilweise ausgeschaltet werden können. Die Messung erfolgt zu dem Zeitpunkt, an dem der Nachweis auf langlebige Radionuklide beschränkt bleibt. Eine chemisch-analytische Aufbereitung des Untersuchungsmaterials entfällt in diesem Fall. Die Gefahr einer exogenen Kontamination kann deshalb klein gehalten werden (69). Meine Proben wurden im Merlin (FRJ-1) der KFA Jülich mit einem thermischen Neutronenfluß von etwa 10^{14} Neutronen pro cm^2 und sec mit einer Bestrahlungsdauer von 24 Stunden bestrahlt. Nach einer Abklingzeit von 162, 204 und 593 Tagen wurden die Gamma-Spektren mit einem Ge(Li)-Detektor in Verbindung mit einem Vielkanalimpulshöhenanalysator aufgenommen und durch Vergleich mit bekannten Element-Spektren ausgewertet. In diesem Fall wird die Neutronenaktivierungsanalyse (NAA) für die Bestimmung der Konzentrationen der Elemente Zink und Selen angewandt.

5. Experimenteller Teil: Untersuchung der Spurenelementkonzentrationen in Zahnhartsubstanzen

a) Darstellung der Versuchsanordnung:

Es wurden zwei Patientengruppen, wie Tabelle 12 und 13 zeigen, ausgewählt, um deren Weisheitszähne auf ihren Spurenelementgehalt zu untersuchen.

Die erste Gruppe aus dem Raum Duisburg bestand aus 5 Frauen zwischen 18 und 20 Jahren und 7 Männern zwischen 17 und 20 Jahren. Diesen Patienten wurde im Zeitraum September '81 bis Januar '82 mindestens ein retinierter Weisheitszahn extrahiert.

Duisburg zählt zu den am stärksten belasteten und kontaminierten Industrieregionen der Bundesrepublik Deutschland und Europas. Die Industriestruktur wird vorwiegend durch Kokereien, Kohlekraftwerke und zahlreiche Betriebe der metall-erzeugenden bzw. -verarbeitenden Industrie geprägt. Unter diesen befindet sich eine Reihe von Betrieben, in denen Zink und Selen u. a. produziert bzw. verarbeitet werden.

Die zweite Gruppe aus dem Raum Aachen bestand aus 6 Frauen zwischen 16 und 20 Jahren und 6 Männern zwischen 16 und 19 Jahren.

Die Extraktion eines Weisheitszahnes dieser Patientengruppe erfolgte im September '81. Aachen zeigt vorwiegend ländliche Struktur mit klein- und mittelständischer, metallverarbeitender Industrie. Die Stadt Stolberg im Raum Aachen stellt mit ihrer Blei- und Zinngießerei eine Ausnahme dar.

In beiden Gruppen sind jedoch einige Faktoren von gleicher Art und gleicher statistischer Verteilung vorhanden. Diese Faktoren sind Anästhesie, Operationsstreß (38) und Manipulation

mit chirurgischen Instrumenten, Kontakt der Zahnoberfläche mit Blut, die in ihrer absoluten Auswirkung im allgemeinen nur schwer und ungenau bestimmbar sind.

Wie die Auswahl der untersuchten Personen in Tabelle 12 und 13 zeigt, wurde bei der Versuchsplanung standardisiert, d. h., es wurden nur Nichtraucher und von diesen nur Patienten einer bestimmten Altersgruppe ausgewählt, um systematische Fehler zu vermeiden. So wurden Faktoren, wie Abhängigkeit der Spurenelementkonzentration vom Alter (63,64) und vom Zigarettenkonsum von vornherein ausgeschaltet.

Das Alter der Patienten wurde auf die zweite Dekade beschränkt, und zwar dem Umstand folgend, daß diese Personengruppe gerade in einer Zeit der ersten schwerwiegenden und übergreifenden Umweltprobleme herangewachsen ist. An die Auswahl der Patienten wurde weiter die Forderung gestellt, daß sie in diesen Standorten Duisburg bzw. Aachen aufgewachsen sind und gelebt haben.

In einer dem operativen Eingriff vorausgegangenen Untersuchung wurden, wie aus der DMFT-Zahl (decayed, missing, filled teeth) hervorgeht, nur Weisheitszähne aus einem dem Alter entsprechend gut gepflegten kariesresistenten Regelgebiß zur Analyse ausgewählt, um nicht durch oral-bedingte Einflüsse, wie z. B. durch eine große Anzahl von Füllungen, statistisch nicht zu erfassende evtl. kontaminierte Proben zur Untersuchung heranzuziehen (Abb. 3). Dieser Umstand ist für die Entscheidung, retinierte Weisheitszähne zur Untersuchung heranzuziehen, ausschlaggebend gewesen, weil sie durch eine Schleimhautkaputze vor einer kariösen Läsion, vor direktem Kontakt mit Nahrungsmitteln (124,125), Speichel (49), Plaque (102) und Zahncreme geschützt, im Zahnsäckchen lagen.

Tab. 12: Patientenliste Duisburg

Duisburg								
Nr.	Name	Alter	Geschlecht	DMF -Tooth	Ort	Zahn	Raucher	Proben-Nr.
1	C.T.	20	w	7	Duisburg	48	n	x5343/44
2	M.S.	20	m	10	Duisburg	48	n	x5345/46
3	H.C.	18	m	4	Duisburg	28	n	x5347/48
4	H.C.	18	m	11	Duisburg	48	n	x5349/50
5	G.W.	19	m	7	Duisburg	48	n	x5351/52
6	J.S.	18	m	2	Duisburg	48	n	x5353/54
7	M.F.	18	w	9	Duisburg	38	n	x5355/56
8	I.S.	18	w	5	Duisburg	38	n	x5357/58
9	G.H.	19	w	9	Duisburg	28	n	x5369/70
10	U.P.	19	w	7	Duisburg	48	n	x5389/90
11	S.K.	17	m	9	Duisburg	38	n	x5361/62
12	K.B.	18	m	12	Duisburg	28	n	x5385/86

Tab. 13: Patientenliste Aachen

Aachen							
Nr.	Name	Alter	Geschlecht	DMF-Tooth	Ort	Zahn	Proben-Nr.
1	C.W.	18	m	8	Aachen	18	x5363/64
2	P.S.	18	w	5	Aachen	28	x5365/66
3	P.P.	19	m	9	Aachen	28	x5367/68
4	H.D.	16	m	8	Aachen	48	x5359/60
5	F.T.	17	w	10	Aachen	28	x5371/72
6	J.S.	18	m	6	Aachen	28	x5373/74
7	K.G.	16	m	6	Aachen	28	x5375/76
8	B.B.	17	w	11	Aachen	28	x5377/78
9	H.M.	16	w	4	Aachen	28	x5379/80
10	H.K.	18	w	7	Aachen	38	x5381/82
11	B.F.	16	m	9	Aachen	38	x5391/92
12	G.B.	20	w	7	Aachen	48	x5387/88

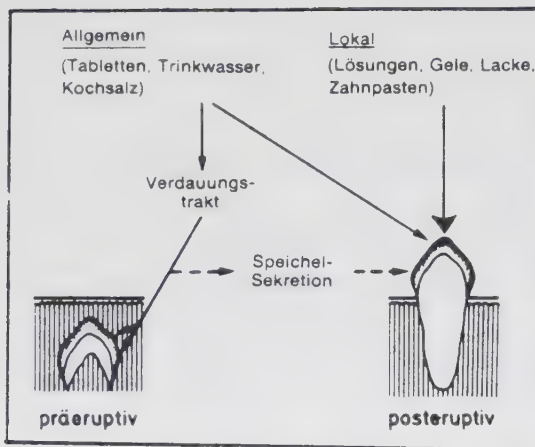


Abb. 3: Allgemeine und lokale Einflüsse auf den Zahn

Die Weisheitszähne haben aus diesem Grunde auch keine Füllungen, was insofern von Wichtigkeit ist, als Studien von Söremark (130) in einer spektrographischen Analyse aufzeigten, daß in konservativ versorgten Zähnen einige Füllungsmaterialien wie Silber, Zink und Zinn in die Zahnschmelze einwandern.

Einen weiteren Grund, ausschließlich Weisheitszähne zur Analyse auszuwählen, liefern Untersuchungen von Lockeretz (85) und Mackie et al. (94). Die Autoren weisen darauf hin, daß die einzelnen Zahntypen unterschiedliche Spurenelementkonzentrationen zeigten, wobei der Bleigehalt z. B. von Schneidezähnen über Eckzahn zum ersten und zweiten Molar stetig abnimmt. Diese Unterschiede sind nicht von allen Autoren beachtet worden. In vielen Arbeiten finden sich keine präzisen Angaben darüber, welcher Zahntyp jeweils analysiert wurde. Untersuchungen von Leicester und Thomassen (Tab. 14) beweisen mittels Injektionen von Beryllium in Ratten diese Annahme.

	9 Ratten 3 Tage	8 Ratten 30 Tage	6 Ratten 90 Tage	7 Ratten 150 Tage	7 Ratten 250 Tage
	nach der letzten Injektion				
Schneidezahn	0,46±0,8	0,12±0,05	0,07±0,04	-	-
Molaren	0,43±0,12	0,32±0,03	0,31±0,04	0,30±0,04	0,31±0,05
Knochen	0,97±0,24	0,38±0,14	0,11±0,04	0,11±0,04	0,08±0,04

Tab. 14: Unterschiedliche Berylliumeinlagerung in verschiedenen Zahntypen (µg/g)

Diese Untersuchung zeigt, daß in diesem Fall mehr Be im Knochen abgelagert wurde als im Zahn. Das Ergebnis beweist, daß eine dem Spurenelement spezifische Akkumulation auch innerhalb der Hartgewebe stattfindet und deshalb die Proben möglichst identisch sein sollten. Mit Selen, Vanadium, Yttrium und Cer wurden ähnliche Ergebnisse erzielt (81).

Ferner sollte dem Umstand, daß die Weisheitszähne in der retinierten Form sich in einer Entwicklungsphase befinden, Rechnung getragen werden. Das endgültige Wachstum der Zähne ist erst vier Jahre nach der Eruption abgeschlossen. Daß diese Tatsache von Bedeutung sein kann, beweisen Bawden und Hammarstrom (6). In ihren Studien konnten die Autoren im Schmelzorgan eines wachsenden Rattenmolars eine veränderte Spurenelementzusammensetzung vorfinden gegenüber allen anderen Hartzellgeweben. Aus Tabelle 15 ist ferner zu ersehen, daß die Konzentrationen von Cadmium in retinierten bzw. durchgebrochenen Zahnschmelzsubstanzen voneinander abweichen.

Mid-point Enamel Depth (μm)	Bovine Enamel		
	Unerupted	15-24 months ^a ppm Cd	>24 months ^a
<100	1.13 $\pm$ 0.14 (3) ^b	1.39 $\pm$ 0.21 (5)	1.09 $\pm$ 0.12 (5)
100-300	0.56 $\pm$ 0.18 (3)	1.03 $\pm$ 0.07 (5)	0.74 $\pm$ 0.08 (5) ^c
301-550	0.45 $\pm$ 0.17 (3)	0.93 $\pm$ 0.11 (5)	0.76 $\pm$ 0.06 (5) ^c
551-850	0.86 (1)	1.13 $\pm$ 0.12 (5)	0.70 $\pm$ 0.04 (5) ^c
Enamel Depth (μm)	Human Enamel (Permanent Teeth)		
<100	1.87 $\pm$ 0.33 (10)		
100-250	1.30 $\pm$ 0.16 (10)		
251-400	1.51 $\pm$ 0.13 (9)		
401-600	1.09 $\pm$ 0.11 (9)		

^aAge of cow at slaughter; ^bMean $\pm$ S.E. (Number of teeth); ^cMeans statistically different from first layer at P > 0.05

Tab. 15: Cadmiumkonzentrationen im retinierten bzw. durchgebrochenen Zahnschmelz

Eine organische bzw. symptomatische Erkrankung und eine damit verbundene Medikation über einen längeren Zeitraum lag bei keiner der Personen vor. Die Frage nach der Einnahme von

Medikamenten innerhalb der letzten sieben Tage vor Extraktion wurde von den Patienten verneint. Wie Studien zeigen, kommt es z. B. durch die Einwirkung von Tetracyklinen zu Mineralisationsstörungen (33,147). Deshalb ist eine Spurenelementverschiebung durch chemische Wirkstoffe nicht auszuschließen.

Darüberhinaus stellt sich die Frage, ob auch weitere angebotene Arzneimittel Einfluß auf die Einlagerung von Mineralien ausüben können. Die meisten Medikamente, die in der Zahnmedizin verwendet werden, vergrößern die Permeabilität des Dentins, was eine erhöhte Einlagerung von Spurenelementen aus dem hämatogenen Kreislauf bedeuten könnte.

b) Ontogenese und Anatomie

In der Embryogenese (15. - 56. Tag) wird die Zahnleiste zwischen dem 35. bis 50. Tag determiniert, aus der sich die Weisheitszähne entwickeln. Bei der Zahnentwicklung wird die Krone zuerst gebildet. Die von der Zahnleiste auswachsende Epithelglocke besteht aus einem inneren und äußeren Schmelzepithel und dem dazwischenliegenden retikulierten Epithel, der sogenannten Schmelzpulpa. Die Zellen des inneren Schmelzepithels sind die Schmelzbildner (Ameloblasten). Das von der Epithelglocke umschlossene Bindegewebe verdichtet sich und lagert an der Grenze zur Ameloblastenschicht Dentin ab. Etwas später beginnt die Schmelzproduktion durch die Schmelzbildner, wobei die neuzubildende Schmelzsubstanz dem bereits vorhandenen Dentin aufgelagert wird. Nach Fertigstellung der Zahnkrone verschwindet die Schmelzpulpa, wobei sich inneres und äußeres Schmelzepithel wieder zusammenlegen und das sogenannte "Schmelzhäutchen" bilden. Im Bereich der Wurzel ist das Epithel nicht mehr an der Produktion der Hartsubstanz beteiligt, es hat hier nur noch formgebende Aufgaben.

Die Schmelzpulpa fehlt hier, so daß inneres und äußeres Schmelzepithel miteinander in Kontakt bleiben. Dieser Epithelschlauch, der als Ausläufer des Schmelzorgans in Richtung auf die zu bildende Wurzelspitze vorwächst und dabei mantelartig die Form der Wurzel vorzeichnet, wird als "Hertwigsche Epithelscheide" (79) bezeichnet. Die Dentinbildung geht im Bereich der Wurzel in gleicher Weise wie im Kronenteil vor sich: Die erste Dentinsubstanz wird hier auf der Innenseite der Epithelscheide aufgelagert. Nach Fertigstellung der Dentinschale wird der ihr außen anliegende Epithelschlauch von einsprossendem Bindegewebe der sich ausbildenden Wurzelhaut siebartig durchlöchert und von der Dentinoberfläche abgehoben, so daß nun Zementsubstanz angelagert werden kann. Dabei wird der Epithelverband zu einem Netz von Zellsträngen zusammengedrängt. Mit fortschreitender Ausgestaltung des Parodontiums reißen die Zellstränge auseinander und runden sich zu Epithelinseln ab, die als "Malassezsche Epithelreste" bezeichnet werden und als kugelige oder ovale Gebilde zeitlebens in der Wurzelhaut liegen bleiben.

Den ersten röntgenologischen Nachweis des Weisheitszahnes (= *Dentis serotini*) kann man in der Regel im 9. Lebensjahr (± 9 Monate) erkennen. Die meisten Weisheitszähne entwickeln sich im Alter von 11 - 12 Jahren. Das durchschnittliche Alter für die Weisheitszahn-Krypta-Formation wurde von Banks (3) mit sieben Jahren angegeben, von Gravely (43) hingegen mit 9 Jahren.

Der Durchbruch der Weisheitszähne kann zwischen dem 11. und 35. Lebensjahr erfolgen, wobei der Durchschnitt bei ca. 21 Lebensjahren liegt. Das Wurzelwachstum ist erst vier Jahre nach dem Durchbruch abgeschlossen.

Ein Zahn besteht aus drei verschieden strukturierten Zahnhartsubstanzen: a) *substantia adamantia* (Schmelzorgan), die die Zahnkrone bedeckt, b) die *substantia ossea* (=Zement),

einer dem Knochen ähnlichen Struktur, die die Zahnwurzel umgibt, und als letzte c) die substantia eburnea, auch Zahnbein genannt. Das Dentin umgibt die Pulpa, das innere Bindegewebe und den Gefäßraum. Man unterscheidet koronales vom radikulären Dentin.

c) Probeentnahme

Die operative Entfernung von Weisheitszähnen darf nicht im akut entzündlichen Stadium einer Dentitio difficilis durchgeführt werden. Die Entzündung muß erst durch entsprechende Therapie in ein chronisches Stadium zurückgedrängt werden. Über die Position des Zahnes orientiert man sich anhand eines Röntgenbildes.

Der Schnitt zur Freilegung retinierter und meist auch verlagelter unterer Weisheitszähne führt über die linguale Kante des aufsteigenden Astes, biegt distal des zweiten Molaren unter Schonung seines Gingivalsaumes nach vestibulär ab und verläuft dann schräg nach vorn bis in die Umschlagfalte (78).

Der Schleimhautperiostlappen wird mit dem Raspatorium abgelöst. Bukkal und distal des impaktierten Zahnes wird der Knochen mittels Rosenbohrern soweit abgetragen, bis die Krone mit der Zange oder dem Beinschen Hebel gefaßt und der Zahn aus seinem Bett herausluxiert werden kann (18).

Die Schnittführung bei verlagerten und retinierten oberen Weisheitszähnen beginnt im Vestibulum zwischen dem ersten und zweiten Molaren und verläuft distal des zweiten Molaren nach palatinal, wo er rechtwinklig umbiegend etwa einen Zentimeter weit der plica pterygo-mandibularis folgt (78).

d) Probenaufbereitung

Die Weisheitszähne wurden sofort nach Extraktion unter fließendem Wasser oberflächlich gesäubert, um Koagulationen des Blutes zu verhindern; anschließend wurden sie in eine vorbereitete Polyäthylenfolie eingeschweißt. Da es sich bei der Extraktion eines Weisheitszahnes um einen chirurgischen Eingriff handelt, trägt der Operateur Handschuhe aus Polyäthylen, so daß auch auf diesem Wege eine Kontamination vermieden wird.

Nach dem Erreichen der gewünschten Probenzahl wurden die Zähne in vorbereitete Quarzgläser umgefüllt, die zuvor mit einer sogenannten Jervis-Lösung gereinigt wurden, welche zu je einer Hälfte aus Methanol und Aceton bestand. Der Reinigungsablauf wiederholte sich dreimal für jeweils 30 Sekunden mit Hilfe eines Vibrators.

Ein zweites Mal wurde das Quarzglas mit der dazugehörigen Probe dem Reinigungsvorgang mit einer Jervis-Lösung unterworfen, wobei dieser dem ersten Reinigungsablauf glich. Zudem wurde das Quarzglas mit dem Weisheitszahn zum Ende des Spülvorganges wiederum dreimal für je 30 Sekunden mit pentadestilliertem Wasser ausgespült.

Die unter konstanten Bedingungen gesäuberten Proben wurden daraufhin 24 Stunden bei einer Temperatur von 105° Celsius im Trockenschrank durch Verdampfen getrocknet, wobei zuvor die Flaschen mit Kleenex-Tüchern abgedeckt worden waren.

Die Zerkleinerung der Proben nach durchgeführter Trocknung erfolgte wiederum in Polyäthylenfolien, in die die Zähne eingeschweißt wurden. Das Probenstück sollte für die Neutronenaktivierung das Gewicht von 50 - 100 mg möglichst nicht überschreiten.

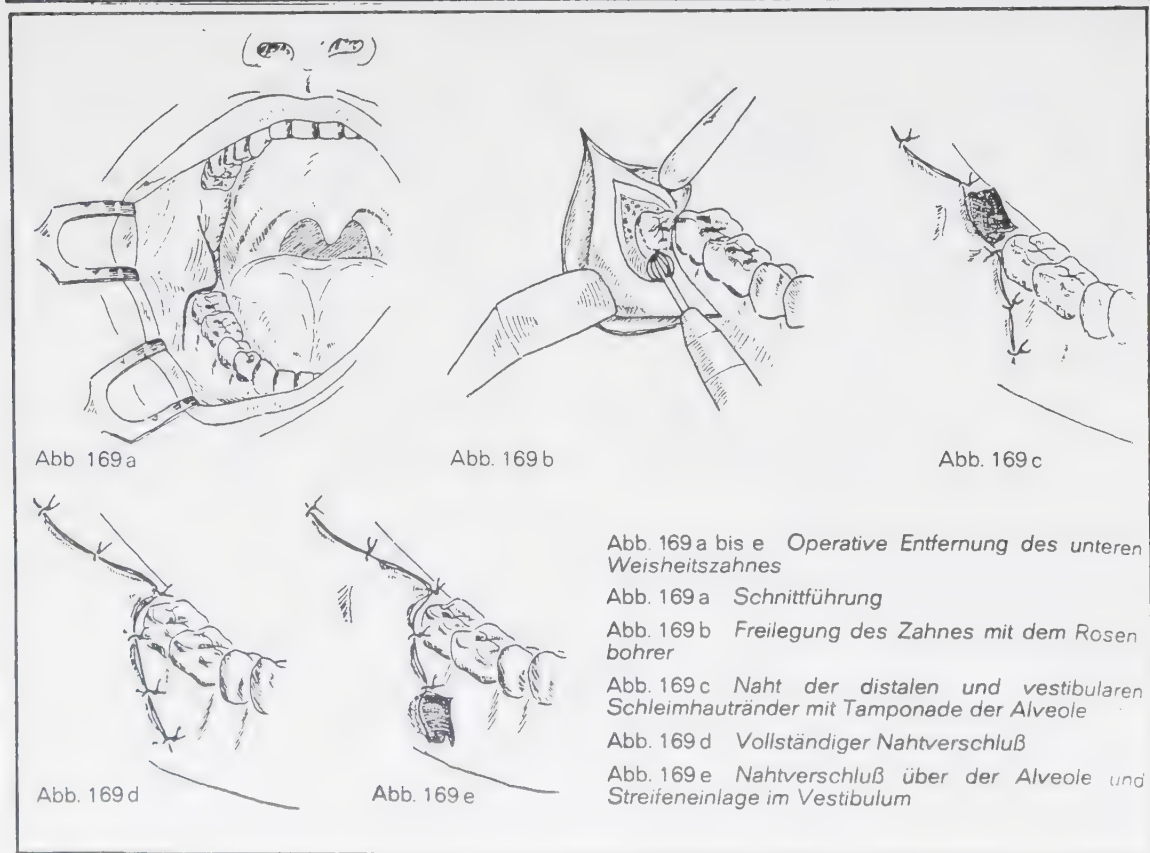
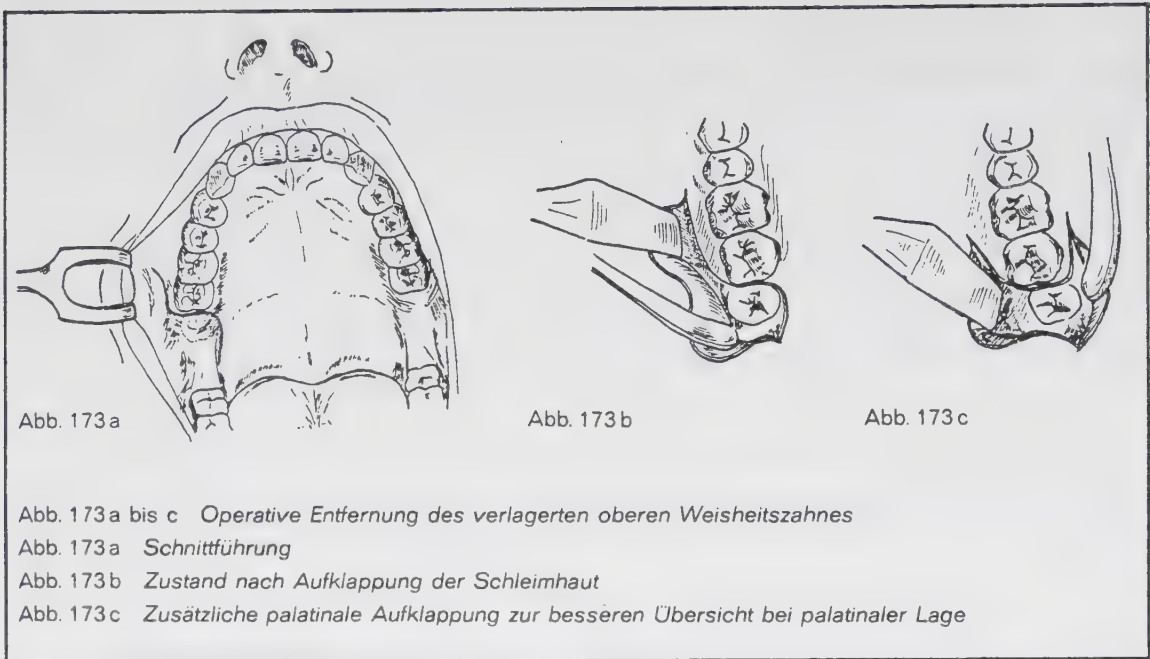


Abb. 4: Methoden operativer Entfernung von Weisheitszähnen

Die eingeschweißten Weisheitszähne wurden im weiteren Verlauf zur besseren Fraktionierung für 15 Min. in flüssigen Stickstoff getaucht und die Probe im weiteren Verlauf auf einer Hartkunststoffunterlage mit Hilfe eines gereinigten Nylonhammers zerkleinert. Es lagen zwei Möglichkeiten zur Zerkleinerung von Proben vor; einmal die Fraktionierung mit Hilfe eines Nylonhammers (20,58,77,142), und zum anderen die Zermahlung eines vollständigen Zahnes mit organischem Anteil (=Pulpa) in eine pulvrige Form.

Zwar wäre in diesem letzteren Fall eine Homogenisierung des Zahnes gesichert, doch eine genaue Trennung der Zahnsubstanz in Dentin, Schmelz und Zement nicht mehr möglich (74). Eine Veränderung der Werte wäre durch den bindegewebigen Anteil der Pulpa vorprogrammiert. Die fraktionierten Bruchstücke wurden der Polyäthylentüte entnommen, in die bereits verwendeten Quarzgläser zurückgefüllt und mit Parafilm M verschlossen.

e) Vorbereitung der Proben für die Neutronenaktivierungsanalyse

Für jede Probe wurden jetzt jeweils zwei Quarzgläser nach dem o. g. Reinigungsverfahren für die Aufnahme der beiden zu untersuchenden Zahnhartsubstanzpartikel Schmelz und Dentin vorbereitet. Für die Analyse wurden jeweils Bruchstücke ausschließlich des koronalen Dentins verwandt. Es ergeben sich Werte zwischen 0,05814 g und 0.09522 g. Im Folgenden werden alle Konzentrationsanalysen in der Größenordnung - part per million - (ppm) erscheinen.

Nach der Kennzeichnung der Proben wurden die Suprasyllgläschen in der Glasbläserei der Kernforschungsanlage Jülich durch Schmelzen der Öffnung verschlossen. Zudem wurden Eisendrähte mit einem Gewicht von ca. 4 mg abgewogen, in Aluminiumfolie

eingefaltet und, nachdem sie mit der entsprechenden Probennummer versehen waren, zusammen mit den Quarzgläsern in Aluminiumhülsen gegeben.

Diese Maßnahme dient dazu, bei einer ca. 15 minütigen Abklingzeit nach der Bestrahlung die Handhabung der Aluminiumröhrchen bei nur geringen Schutzmaßnahmen durchführen zu können, da Aluminium bei einer Bestrahlung nur ein Radionuklid mit einer Halbwertszeit von $T_{1/2} = 2,3$ Min. besitzt.

Die Eisendrähthchen dienten zur späteren genauen Bestimmung des Neutronenflusses, der die Probe trifft. Dieser Neutronenfluß ist an keinem Ort des Kernreaktors und zu keinem Zeitpunkt konstant. Doch zur Bestimmung der Aktivität muß der Neutronenfluß aufs genaueste bekannt sein.

In jede 10. Aluminiumhülse wurde ein bovine liver - NBS-Standard mit bekannter Konzentration an Spurenelementen beigelegt. Dies ermöglichte später die absolute Bestimmung der Konzentrationen der Spurenelemente in den Zahngeweben.

Jeder einzelnen Probe wurde ein Bestrahlungsantrag an die Überwachungsbehörde beigegeben, in dem die Bestrahlungsdauer, das Probengewicht und der berechnete Wert für die erwartete Gesamtaktivität der Probe einschließlich Umhüllung bei Bestrahlungsende angegeben werden mußte. Die Bestrahlung der Proben wurde von der Zentralabteilung der Forschungsreaktoren (ZFR) am Forschungsreaktor Merlin durchgeführt. Die Zahnhartsubstanzen wurden 24 Stunden einem thermischen Neutronenfluß von ca. 10^{14} n/cm²/sec ausgesetzt. Anschließend wurden die Proben etwa 23 Wochen in einem geschützten Raum aufbewahrt, damit die Aktivitäten auf ein gewisses Maß abklagen, um Personal und Meßeinrichtung (Totzeit) keiner zu großen Strahlung auszusetzen.

Außerdem klangen in dieser Zeit die Aktivitäten der kurzlebigen Radioisotope, wie z. B. ^{24}Na und ^{32}P weitgehend ab, so daß es nicht zur Überlagerung zwischen den Peaks kurzlebiger und der zu messenden Nuklide kam. Bei der Bestrahlung mit Neutronen entstehen aus den gesuchten Elementen die radioaktiven Nuklide, die in Tabelle 16 dargestellt sind.

Nach ca. 23 Wochen Abklingzeit wurden die Zahnproben in den Aluminiumkapseln vom ZFR an das Institut für Medizin der Kernforschungsanlage Jülich ausgeliefert und in einem Abzug die Aluminiumkapseln geöffnet. Die Suprasyllgläser wurden an einem Ende zerbrochen und die aktive Probe in ein unbestrahltes, entsprechend gekennzeichnetes Reagenzglas gefüllt, dessen Leergewicht vorher bestimmt worden war.

Dieses Umfüllen der Probe war erforderlich, da die Kontrolle eines leeren, bestrahlten Quarzgläschens ergeben hatte, daß selbst diese hochgereinigten Gläser noch störende Spurenelementmengen enthielten. Diese Spurenelemente - bei der Bestrahlung ebenfalls aktiviert - hätten falsche Konzentrationen vorge täuscht.

Nach dem Umfüllen wurde das Reagenzglas mit der Probe nochmals gewogen, um so das Nettogewicht zu bestimmen. Die aktive Eisensonde wurde von einem Ge(Li)-Halbleiterdetektor - ausgemessen, indem der Detektor das Gamma-Spektrum aufzeichnete und das Integral unter dem Peak berechnete. Die Aufnahmezeit betrug für die Fe-Sonde 200 sec.

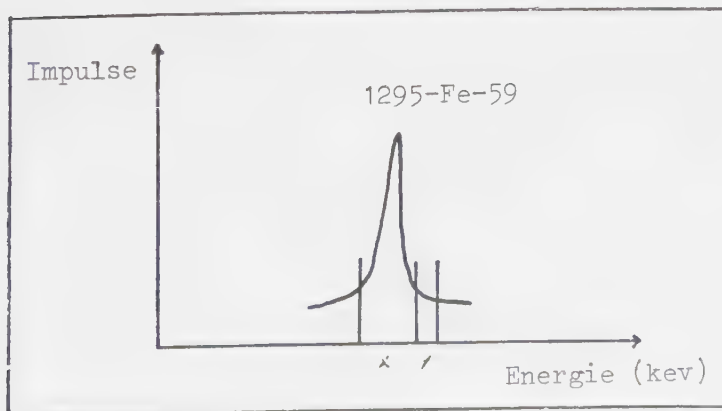


Abb. 5: Gamma-Energie-Teil-Spektrum einer Eisen-sonde (schematisch)

Abb. 7 zeigt einen Ausschnitt aus dem Gamma-Energie-Spektrum einer Eisensonde mit einem Photopeak von Eisen (Fe-59) um den Kanal 1295. Dieser Peak dient zur Bestimmung der Aktivität der Eisensonde, also zu dem Zweck, das Neutronenflußzeitintegral berechnen zu können. Von der Summe der Impulse, die den Peak im Energiebereich (x-Bereich) ausmachen, wurden die Impulse des Untergrundes (y-Bereich) unter Berücksichtigung der jeweiligen Kanalzahl abgezogen.

Die Gamma-Spektren der Zahnproben wurden mit Hilfe des Ge(Li)-Halbleiterdetektors in Verbindung mit einem Vielkanalimpulshöhenanalysator auf 2000 Kanälen entsprechend 2000 KeV aufgenommen.

Die Aufnahmezeit der Proben betrug 5000 Sekunden. Die Spektren wurden nach 162 d, 204 d und 593 Tagen nach Bestrahlungsende aufgenommen. Es wurden deshalb drei Messungen durchgeführt. Die mathematische Auswertung der Gamma-Spektren wurde im Institut für angewandte Mathematik (ZAM) der Kernforschungsanlage Jülich über den IBM-Rechner 370/165 erstellt.

Element	Isotop	Halbwertszeit
Ag	110 m	253.0 d
Al	28	2.27 m
Au	198	2.7 d
Br	82	35.4 h
Ca	49	8.8 m
Cl	38	38.0 m
Co*	60	5.26 a
Cr*	51	27.8 d
Cs	134	2.1 a
Cu*	66	5.1 m
Eu	152	12.4 a
Fe*	59	45.0 d
Hg	203	47.0 d
K	42	12.4 h
Mn*	56	2.58 h
Na	24	15.0 h
Rb	86	18.7 d
Sb	124	60.0 d
Sc	46	84.0 d
Se*	75	121.0 d
V*	52	3.75 m
Zn*	65	245.0 d

Tab. 16: Elemente-Isotope-Halbwertszeiten

6. ERGEBNISSE

I Mittelwerte

Die Mittelwerte der Zahnzinkkonzentrationen in Schmelz und Dentin von 22 Patienten aus Duisburg und Aachen gehen aus Tabelle 17 und 18 hervor.

Aachen	Schmelz/Alter		Dentin/Alter	
	104	16	130	16
	107	16	134	16
	112	17	142	16
	121	18	145	18
	123	16	147	17
	125	16	150	17
	155	18	154	19
	160	17	156	18
	165	18	159	18
	165	19	160	20
	165	20	168	18
Mittelwert $\pm$ Standardfehler	137 $\pm$ 8		150 $\pm$ 3	

Tab. 17: Zahnzinkkonzentrationen in Aachen (ppm)

Duisburg	Schmelz/Alter		Dentin/Alter	
	159	18	140	17
	166	18	143	18
	178	18	151	18
	178	18	154	18
	183	19	156	18
	187	18	161	20
	189	17	169	18
	192	19	171	18
	193	20	177	19
	197	20	184	18
	207	19	196	19
Mittelwert $\pm$ Standardfehler	184 $\pm$ 4		164 $\pm$ 3	

Tab. 18: Zahnzinkkonzentrationen in Duisburg (ppm)

II Abhängigkeit des Zinkgehalts vom Wohnort

Neben den Weisheitszähnen von Jugendlichen aus Duisburg wurden auch Weisheitszähne junger Menschen aus Aachen untersucht. Dabei wurde von der Zahnprobe koronales Dentin und Schmelz verwandt und gesondert untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 19 und Abbildung 6 zusammengefaßt. Die statistische Analyse zeigt, daß die Zahnzinkkonzentrationen der beiden Kollektive signifikante Unterschiede aufweisen.

Es wurde für beide Kollektive der aus der gefundenen Stichprobenverteilung abgeleitete 95 %-Vertrauensbereich des arithmetischen Mittelwertes berechnet.

Aus Abbildung 6 geht hervor, daß die Zahnzinkkonzentration der Weisheitszähne von Bewohnern der Stadt Aachen sowohl im Schmelz ($P(t)_{Aa} < Du: 0,00001$) als auch im Dentin ($P(t)_{Aa} < Du: 0,017$) signifikant niedriger liegen als die der Bewohner der Stadt Duisburg, da hier Wohngebiete in unmittelbarer Nachbarschaft zu zwei Großbetrieben der nichtedelmetallproduzierenden bzw. -verarbeitenden Industrie liegen.

ZINK	SCHMELZ		DENTIN	
	Mittelwert±SF	Vertrauensber:	Mittelwert±SF	Vertrauensber:
Aachen	137±8	120-154	150±3	142-158
Duisburg	184±4	175-194	164±3	152-176
P(t) A<D	0,000001		0,017	

Tab. 19: Zahnzinkkonzentration in retinierten Weisheitszähnen aus Aachen und Duisburg in ppm

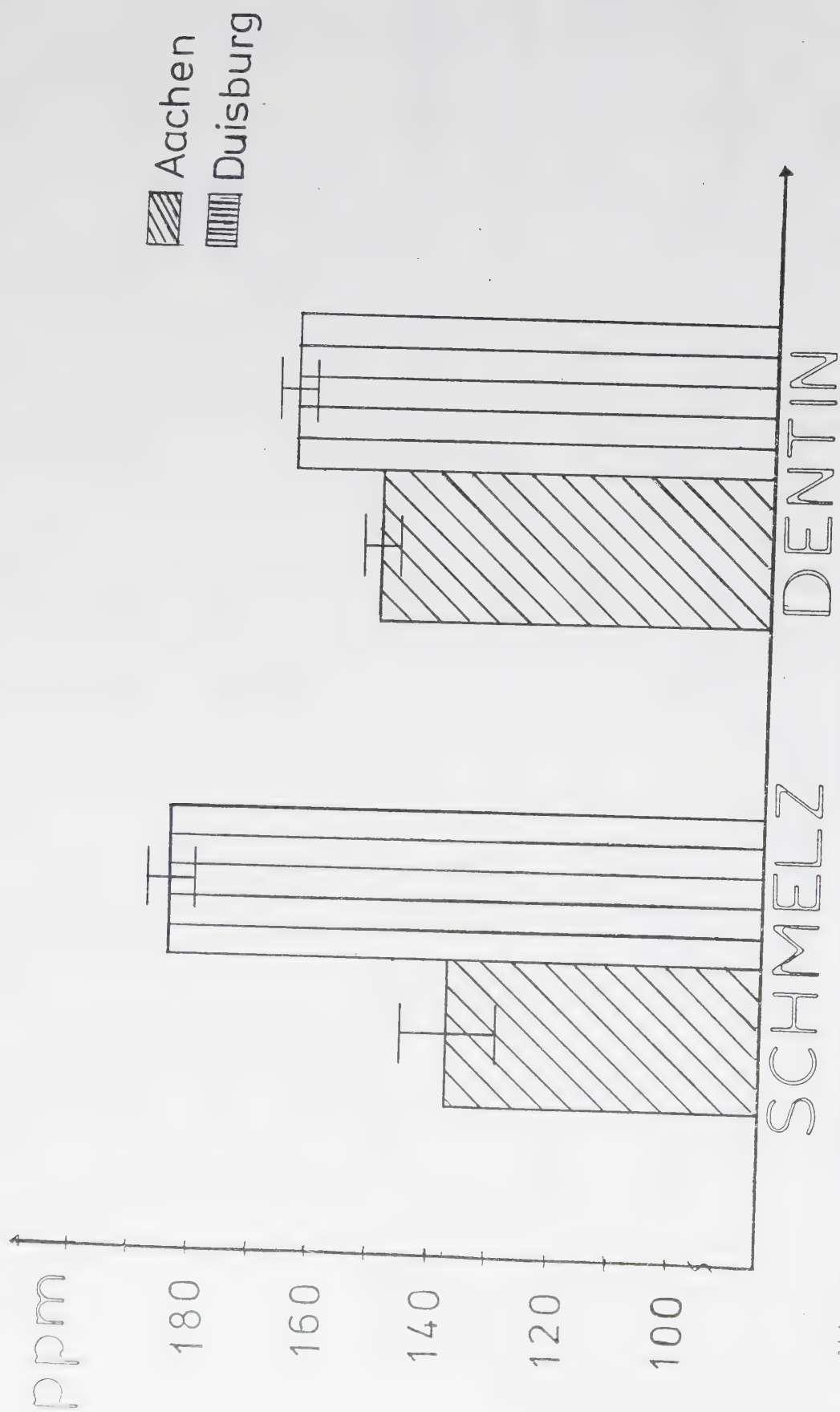


Abb. 6: Zahnzinkkonzentration in retinierten Weisheitszähnen aus Aachen und Duisburg
(Mittelwert $\pm$ Standardfehler)

7. DISKUSSION

Trotz der kleinen Anzahl der untersuchten Zahnproben kann aus den vorliegenden Ergebnissen gefolgert werden, daß die Zinkkonzentration in retinierten Weisheitszähnen von 17 - 20jährigen Jugendlichen aus Duisburg mit 95 % iger Wahrscheinlichkeit im Bereich von 175 - 194 ppm im Schmelz und zwischen 152 und 176 ppm im Dentin liegt. Der Zinkgehalt in den Weisheitszähnen von 16 - 20jährigen Bewohnern aus Aachen ergab eine Konzentration von 120 - 154 ppm im Schmelz und im Dentin 142 - 158 ppm.

Obwohl Duisburg eines der am stärksten belasteten Industriegebiete der Bundesrepublik Deutschland und Europas darstellt, sind die gefundenen Zahnzinkkonzentrationen im Vergleich zu den von anderen Autoren in verschiedenen Ländern Europas sowie in den Vereinigten Staaten von Amerika gefundenen Werte nicht als besonders hoch anzusehen. Sofern es sich nicht um die Analyse ganzer Zähne handelt, liegen die von mir gefundenen Werte in der Größenordnung der in der Literatur publizierten Daten (Tab. 20).

Autor (Lit.-Angabe)	Art d. Probe	Ergebnisse (Mittelwerte)	Zahl d. Proben
Ishiwata (77,61)	Schmelz	219	50
Losee (110)	Schmelz	199	28
Liebscher (83)	Schmelz	339	130
Lundberg (92,93)	Schmelz	215	10
Söremark (128)	Schmelz	255	15
Söremark (127)	Schmelz	276	15
Retief (112,113)	Schmelz	263	8
Retief (112,113)	Dentin	172	9
Retief (112,113)	Dentin	250	40
Söremark (132)	Dentin	199	15
Ishiwata (61)	Dentin	50	50

Tab. 20: Literaturübersicht über die Zinkkonzentrationen
in Zähnen (ppm)

Ein Vergleich mit diesen Studien bedarf jedoch einiger relativierender Anmerkungen:

1. Nach Untersuchungen von Lockeretz (85) und Mackie et al. (94) weisen die einzelnen Zahntypen unterschiedliche Spurenelementkonzentrationen auf, wobei z. B. für den Bleigehalt gilt, daß die Konzentration von den Schneidezähnen über den Eckzahn zum ersten und zweiten Molar stetig abnimmt. Diese Unterschiede sind nicht von anderen Autoren beachtet worden; in vielen Arbeiten finden sich keine präzisen Angaben darüber, welcher Zahntyp jeweils analysiert wurde.

2. Studien von Söremark et al. (130) zeigten in einer Analyse auf, daß in konservativ versorgten Zähnen einige Füllungs-materialien wie Silber, Zink und Zinn in die Zahnstruktur einwandern. Hier fehlen auch bei einigen Autoren Angaben über eventuelle kariöse Läsionen oder konservative Versorgung des zu untersuchenden Zahnes.

3. Untersuchungen weisen auf eine Abhängigkeit der Spurenelementkonzentration von Alter (63,64) und Zigarettenkonsum hin. Das Alter der Patientengruppe wurde auf 16 - 20 Jahre begrenzt, dem Umstand folgend, daß diese Personengruppe gerade in einer Zeit der ersten schwerwiegenden und übergreifenden Umweltprobleme herangewachsen ist. Ferner wurden nur Zahnproben der Patienten zu Untersuchungen herangezogen, die Nichtraucher sind.

Die Zahnzinkkonzentrationen der Jugendlichen aus Aachen sind sowohl im Schmelz (137 ppm im Mittelwert), als auch im Dentin (150 ppm im Mittelwert) signifikant niedriger als die Zahnzinkkonzentrationen der altersgleichen Duisburger Jugendlichen (Schmelz 184 ppm und Dentin 164 ppm im Mittelwert). Als Grund hierfür dürften im wesentlichen die unterschiedlichen Zinkimmissionsbelastung der beiden Kollektive sowie eine erhöhte orale Aufnahme sedimentierter zinkhaltiger Stäube bei Duisburger Jugendlichen in Betracht kommen.

Die Meßergebnisse des Meßprogramms der LIB (118) zeigen, daß in zahlreichen Stadtgebieten Duisburgs relativ hohe Zinkimmissionen auftreten. Es wurden Werte zwischen 0,99 und 1,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ registriert. Als Emissionsquelle dominiert die Industrie (91). Demgegenüber dürften die Immissionskonzentrationen in Aachen im Bereich zwischen 0,5 und 0,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (persönliche Mitteilung des Gesundheitsamts Aachen) liegen. Genaue Messungen liegen meines Wissens nicht vor.

Obwohl über die Bindungsform und Korngrößenverteilung des in der Außenluft der beiden Gebiete vorkommenden Zinks sowie über die Resorptionsverhältnisse nur wenig bekannt ist, weisen die nicht einheitlichen Konzentrationsänderungen des Zinks in den verschiedenen Organen des menschlichen Körpers darauf hin, daß sie im Organismus unterschiedlichen Regulationsmechanismen individueller Resorptionsfähigkeit bzw. spezifischer Transportmechanismen unterliegen und nicht nur durch einfache Speichervorgänge beeinflußt werden.

Daraus ergibt sich, daß die Duisburger Jugendlichen allein schon aufgrund der höheren Emissionsbelastung im stärkeren Maße Zink aufgenommen und akkumuliert haben als die Jugendlichen aus Aachen. Einige Untersuchungen an Schulkindern (2,4) sowie Studien anderer Autoren zeigen, daß mit wachsender Emissionsbelastung im Mittel zunehmende Blutkonzentrationen auftreten. Diese Unterschiede sind auch bei den Zahnzinkkonzentrationen nachweisbar. Aufgrund der Tatsache, daß mit der Zahnzinkkonzentration die langfristige und kumulative Belastung erfaßt wird, treten diese Unterschiede bei den Zahnzinkkonzentrationen jedoch deutlicher hervor. Immerhin weist die Signifikanz $P(t)$ der Zahnzinkkonzentrationen in den beiden untersuchten Gebieten ($Aa < Du$) einen Wert von 0,00001 für Schmelz und 0,017 für Dentin auf.

Neben der unterschiedlichen Zinkemissionsbelastung dürfte die unterschiedliche orale Zinkaufnahme aus sedimentierten zinkhaltigen Stäuben von Bedeutung sein. Es ist somit zu vermuten, daß neben der erhöhten Zinkemissionsbelastung eine erhöhte orale Zinkingestion durch Aufnahme sedimentierter, zinkhaltiger Stäube zu der höheren langfristigen und kumulativen Zinkbelastung der Duisburger Jugendlichen beiträgt. Inwieweit darüber hinaus auch eine erhöhte orale Zinkaufnahme mit der Nahrung als Folge der erwähnten Kontamination von Nahrungs- und Futterpflanzen gegeben ist, läßt sich aufgrund fehlender Daten gegenwärtig nicht abschätzen.

Für die in Duisburg gefundenen erhöhten Zinkkonzentrationen in Zahnhartsubstanzen sind keine pathophysiologischen oder toxikologischen Wirkmechanismen bekannt. Die zunehmende Zahl der Veröffentlichungen über epidemiologische Zusammenhänge zwischen Spurenelementkonzentration und damit in Zusammenhang stehenden Erkrankungen (z. B. 47,68,91) geben Veranlassung, mögliche pathophysiologische Wirkungen durch akkumulierte Spurenelemente weiter zu untersuchen.

Da sich meine Untersuchungen auf die Analyse von retinierten Weisheitszähnen beschränkten, konnte die von einigen Autoren nachgewiesene Variation der mittleren Zahnzinkkonzentration in den einzelnen Zahntypen - Schneidezähne, Eckzähne, Backenzähne - nicht näher untersucht werden. Dagegen erlauben die vorliegenden Daten Aussagen über die interindividuelle Streuung der Zinkkonzentration in Zähnen gleichen Typs (Weisheitszähne).

Lundberg und Söremark (Tab. 21) untersuchten ebenfalls impaktierte (= retinierte) Zähne von 16 - 20jährigen auf ihren Spurenelementgehalt im Schmelz.

Die Untersuchungen ergaben bei gleichem Personenkreis höhere Zahnzinkkonzentrationen in eruptierten (=durchgebrochenen) Zähnen als in nicht durchgebrochenen Zähnen.

Schmelz	unerupted tooth	215 $\pm$ 41 ppm	(92,93)
	erupted tooth	276 $\pm$ 106 ppm	(127)

Tab. 21 Zahnzinkkonzentrationen in durchgebrochenen und retinierten Zähnen

Der in allen Organen nachweisbare Konzentrationsanstieg von Zink nach dem ersten Lebensjahr spricht dafür, daß bei diesem Element Speichervorgänge eine Rolle spielen (110). Unter Berücksichtigung der Streuung der von mir ermittelten Werte sind die meisten in den verschiedenen Altersklassen sichtbaren Änderungen der Zahnzinkkonzentration nur mit Einschränkung als signifikante altersbedingte Konzentrationsänderung anzusehen. Dennoch lassen sich Trends erhöhter Zinkkonzentration mit zunehmendem Alter ablesen, was vornehmlich durch Akkumulation von Zink im zirkumpulpalen Dentin verursacht wird. Es kommt zu einem Austausch mit dem die Pulpahöhle durchfließenden Blutstrom. Eine weitere Akkumulation beruht auf einer Anreicherung von Zink in den äußeren Schichten des Zahnschmelzes, die wahrscheinlich auf Ionenaustauschreaktionen zwischen der Zahnschmelzoberfläche und der sie umgebenden Gewebsflüssigkeit innerhalb des Zahnsäckchens zurückzuführen ist.

Hier bietet sich eine mögliche Erklärung für die unterschiedliche Akkumulation von Zink in Dentin und Schmelz an. Eine eventuelle Assoziation von Zink mit dentalem Protein mit einem unterschiedlichen Proteingehalt im Schmelz und Dentin könnte als mögliche Ursache (114, 123) - im Einfluß weiterer Faktoren - die unterschiedliche Zahnzinkkonzentration erklären. Über mineralische und organische Bestandteile im Dentin und Schmelz gibt Tab. 22 Auskunft.

	mineral. Bestandteile	organische	Wasser
Schmelz			
Gewichtsprozente	93	4	3
Volumenprozente	83	5	12
Dentin			
Gewichtsprozente	66	18	16
Volumenprozente	42	28	30

Tab. 22: Mineralische und organische Bestandteile im Dentin und Schmelz

Nach Brudevold (12,14) vollzieht sich die Akkumulation von "fremden" Ionen in drei Stationen:

1. Inkorporation von Ionen in Kristallapatit während der Formation. Diese Inkorporation reflektiert den Pegel der Ionen in Körperflüssigkeiten.
2. Nach vollständiger Kalzifizierung und vor der Eruption werden Ionen hauptsächlich von oberflächlichen Schmelzschichten aufgenommen.
3. Nach Eruption und während des Lebens gibt es weiterhin einen Austausch von Ionen zwischen Schmelz und Umgebung. Daher muß bedacht werden, daß die Konzentrationen verschiedener

Spurenelemente in durchgebrochenen Zähnen von Alter, Trinkwasser, Nahrung, dentalen Restorationen und anderen Bedingungen abhängig sind (129).

Über die Beziehung zwischen Zinkgehalt der Zähne und dem Zinkgehalt der Knochen bzw. der gesamten Körperlast ("total body burden") ist aufgrund fehlender Daten bisher nur wenig bekannt. Nach Untersuchungen von Liebscher und Smith (83) ist die Zinkkonzentration in den Zähnen höher als der Zinkgehalt der Knochen, läßt aber - vor allem bei älteren Menschen - keine Rückschlüsse auf den Körperpool im Knochensystem zu. Darüber hinaus bestehen hinsichtlich des Mineralstoffwechsels zwischen Zahn- und Knochengewebe erhebliche Unterschiede: Während Skelettknochen ständigen, wenn auch nur sehr langsamen Austauschprozessen unterworfen sind, sind die inneren Schichten des Dentins und des Zahnschmelzes hinsichtlich ihres Mineralstoffwechsels praktisch inaktiv. Nur die äußeren Schichten des Zahnschmelzes sowie das Sekundärdentin in der Pulpahöhle stehen - wie bereits erwähnt - im Austausch mit den umgebenden Körperflüssigkeiten (Speichel und Blut). Ergebnisse von Steadman (134) bestätigen diese Vermutung, da die Autoren Zink bzw. Cd in höheren Konzentrationen in den oberflächlichen als in tieferen Schmelzschichten gefunden haben (86,114). Die Form des Hydroxylapatits kann womöglich Einfluß auf spezifische Elementkonzentrationen ausüben (115). Der Hydroxylapatit des Schmelzes und des Dentins scheint als Ionenaustauscher zu agieren (13). Der Austausch von Ionen zwischen dem Apatit und der umgebenden Flüssigkeit kann die kristalline Oberfläche und den Kristallkörper miteinbeziehen (100). Da soll ein relativ freier Fluß von Flüssigkeiten durch den Schmelz und das Dentin mit $\text{ca. } 4 \text{ mm}^3 \times \text{cm}^{-2} \times 24 \text{ Std}^{-1}$ (7) möglich sein.

Die hinsichtlich des Mineralstoffwechsels ausgeprägte Stabilität des Zahngewebes ist andererseits von großem Wert, wenn der Zahnzinkgehalt als Indikator der langfristigen und kumulativen Zinkbelastung verwendet wird.

Die Abhängigkeit des Zinkgehalts von der Konzentration anderer Spurenelemente im Zahn kann nicht eindeutig beantwortet werden, da keine Daten vorliegen. Allgemein wird aber angenommen, daß eine Korrelation zu anderen Spurenelementen besteht. Hinweise in der Literatur geben an, daß die Zinkkonzentration in verschiedenen Organen sich entsprechend der Cadmium-Akkumulation erhöhte. In der Pulpa und auch in der Zahnhartsubstanz (103) zeigte sich zu Cadmium hingegen keine deutliche Korrelation, was auf das Vorhandensein eines strengen selektiven Faktors in der Absorption von Substanzen hinweist.

In meinen Schmelz- und Dentinproben von retinierten Weisheitszähnen von Jugendlichen zwischen 16 und 20 Jahren konnte ich keine der Literatur entsprechenden Selenmengen nachweisen (Tab. 23).

Autor - Lit. Angabe	Art der Probe	Ergebnisse	Zahl d. Proben
Nixon (101)	Schmelz	0,213 - 1,96	6
Nixon (101)	Schmelz	0,274 - 2,08	6
Losee (89)	Schmelz	0,270 $\pm$ 0,02	28
Hadjimarkos (48)	Schmelz	0,213 - 2,08	24

Tab. 23: Literaturübersicht über die Selenkonzentration in Zähnen (ppm)

Zur eigenen Kontrolle, da keine Selenmengen, wie in der Literatur beschrieben, nachweisbar waren, wurden von einer der Zahnproben (NAA-Nr. 5346) drei Spektren besorgt, und zwar 162 d nach Bestrahlungsende (S1), nach 204 d (S2) und nach 593 d (S3). Zum Vergleich wurde ein Spektrum (S4) von einer anderen

(Nicht-Zahn-) Probe (NAA-Nr. 5179) ermittelt, dessen Selenpeak gerade noch zu sehen war. In S1, S2, und S3 hat der Rechner keinen Selenpeak gefunden, in S4 aber schon. Da für S4 eine Selenmenge von 3,5 ng gefunden wurde, läßt sich wegen vergleichbaren Untergrunds sagen, daß die Selenmenge in der Probe mit S1 - S3 weniger als 3,5 ng bzw. deren Selenkonzentration weniger als 157 ng/g beträgt, also mindestens um den Faktor sechs unter dem in der Literatur angegebenen Wert von etwa 1000 ng/g liegt. Bei Besichtigung von S1 - S3 findet man einen klaren Selenpeak in S2, einen angedeuteten Selenpeak in S1 und keinen Selenpeak in S3 (bei 400 KeV). Dies kommt daher, daß in S1 der Untergrund noch zu hoch und in S3 der Selenpeak zu sehr abgeklungen war.

Bei dem Versuch, die Selenmenge zu quantifizieren, ergab sich eine Selenmenge von 1,6 ng, bzw. eine Selenkonzentration von 70 ng/g, die um den Faktor 14 unter dem Literaturwert liegt. Ähnliche Verhältnisse dürften bei den anderen Zahnproben vorliegen.

Auffällig war ein hoher Untergrund in der obigen Zahnprobe, der von S1 bis S2 bei 400 KeV (Selenpeak) um etwa den Faktor 2 in 40 Tagen abnahm (auch bei etwa 50 KeV) und in S3 (Abb. 7) nicht mehr vorhanden zu sein schien. Da außer dem ^{65}Zn -Peak keine weiteren Gammalinien von 0 - 2048 KeV erkennbar waren, dürfte es sich dabei um eine Betastrahlung mit einer HWZ um 40 d und einer Emax zwischen 400 (^{75}Se) und 1114 (^{65}Zn) KeV handeln. ^{45}Ca , das bei der NAA aus ^{44}Ca (2% des natürlichen Ca) entsteht, hat eine HWZ von 164 d und eine Emax von 250 KeV, ^{32}P eine HWZ von 14,3 d und eine Emax von 1,7 MeV, ^{14}C eine HWZ von 5600 a und eine Emax von 156 KeV. Somit ist die Störstrahlung, die in S1 noch sehr, in S2 noch etwas und in S3 nicht mehr störte, bisher nicht identifiziert. Dies müßte man, falls von Interesse, anhand ausführlicher Tabellen nachholen. In S3 wurde der natürliche Untergrund und die

Comptonstrahlung von ^{65}Zn vom Gesamtspektrum abgezogen, wobei oberhalb von etwa 150 KeV keine Impulse mehr beobachtet wurden. Ein Selenverlust durch die Analyse kann nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden, da bei der Bestrahlung im Reaktor relativ hohe Temperaturen in den Proben entstehen können.

Meine Proben wurden gleichen Waschvorgängen wie bei Nixon et al. (101) unterworfen und besaßen ähnliche Gewichte (ca. 100 mg). Sie wurden von Nixon (101) mit einem Neutronenfluß von $1,2 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2/\text{sec}$ für eine Woche bestrahlt. Doch fehlen wichtige Angaben über das Alter der Patienten, ferner Daten darüber, ob es sich um einen impaktierten oder um einen durchgebrochenen Zahn handelt, und zu welcher Zahngruppe der Zahn gehört.

Aufgrund des gewählten Alters der Patienten bzw. der Zahnproben der noch in der Entwicklungsphase befindlichen Weisheitszähne mag es sein, daß keine eindeutigen Daten über eine Akkumulation von Selen vorliegen. Wie bereits berichtet, werden die Weisheitszähne erst etwa im neunten Lebensjahr als Keim röntgenologisch sichtbar. Gründe für das weitgehende Fehlen von Selen kann in Entwicklungsfaktoren und Mineralisationsprozessen gesucht werden, da diese bei der Elementzusammensetzung und Konzentration eine entscheidende Rolle spielen (84).

Das Alter der Zähne gibt in einem bestimmten Rahmen Werte für Elementkonzentrationen vor, mit zunehmendem Lebensalter kommen möglicherweise andere Elemente hinzu (89). Einige Elemente, die nicht im Schmelz und Dentin in diesem Alter gefunden wurden, könnten gegebenenfalls später in älteren Zahnhartsubstanzen in meßbaren Größen gefunden werden. Von Zink ist bekannt, daß die Akkumulation dieses Spurenelementes - was meine Ergebnisse bestätigen - bereits vor der Eruption erfolgt (104); hingegen liegen keine Daten vor, die Selen in impaktierten Zähnen nachwiesen.

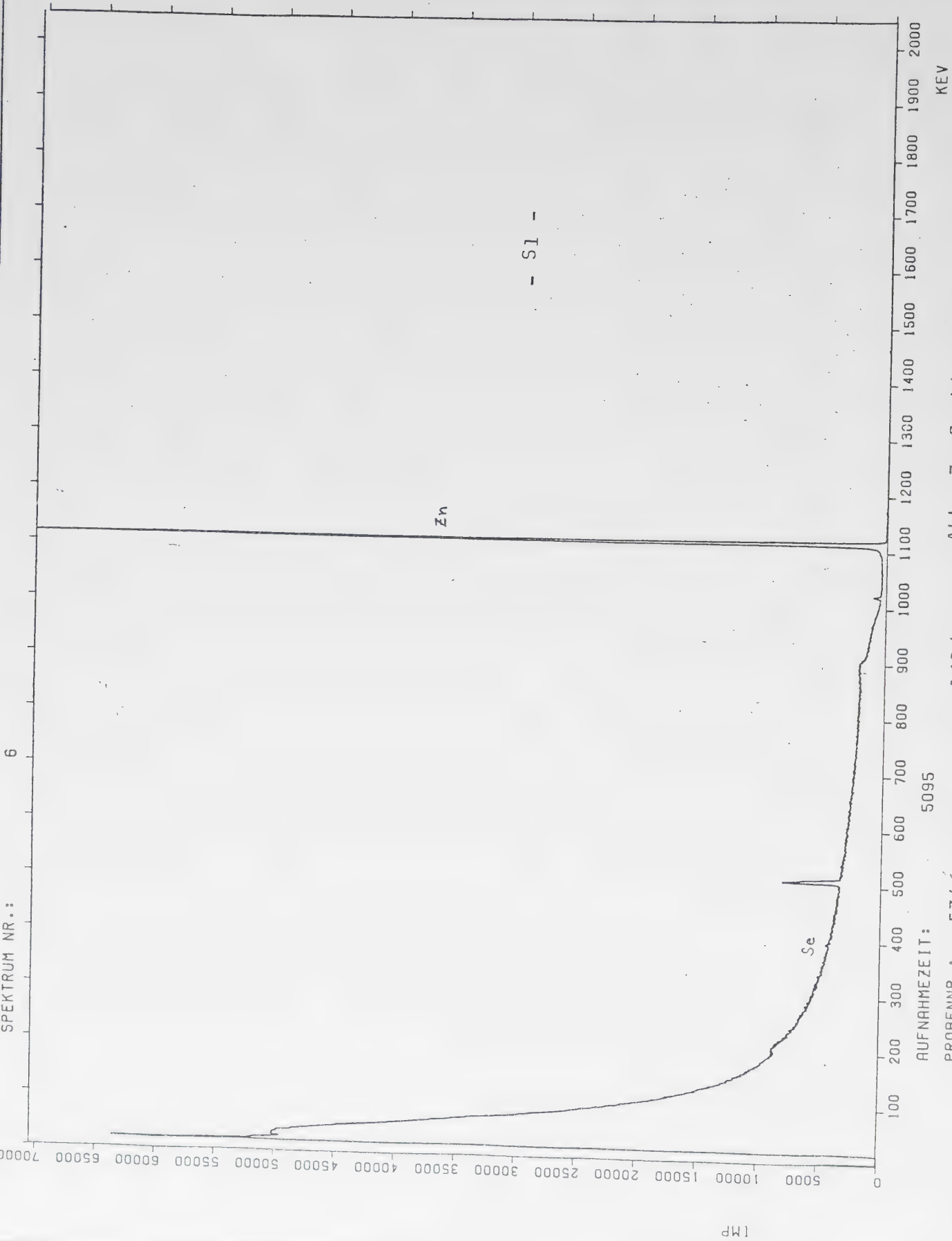


Abb. 7: Spektrum einer Zahnprobe

$t_A = 162d$

AUFNAHMEZEIT: 5095

PROBENNR.: 5346

8. Literatur

- (1) ARMSTRONG, R. W.
Is there a particular kind of soil or geologic
environment that predisposes to cancer
Ann. N. Y. Acad. Sci. 199 (1972) 239

- (2) AUERMANN, E.
Random sampling studies on the degree of lead
exposure in the population
Z. G. Hyg. 23 (1977) 540

- (3) BANKS, H. V.
Incidence of third molar development
Ang. Orthodont 4 (1934) 223

- (4) BALTROP, D.
A study of lead concentrations in blood of
children (and some adults) of Southern Tasmania
Med. J. Aust. 2 (1974) 886

- (5) BATES, D. G.; NAVIA, J. M.
Chemotherapeutic effect of zinc on streptococcus
mutans and rat dental caries
Arch. Oral Biol. 24 (1979) 10

- (6) BAWDEN, J.W.; HAMMARSTROM, L. E.
Distribution of cadmium in developing teeth and bone
of young rats
Scand. J. Dent. Res. 83 (1975) 179

- (7) BERGMANN, G.
Microscopic demonstration of liquid flow
through human dental enamel
Arch. Oral Biol. 8 (1963) 233

- (8) BERGMANN, K. E.; BERGMANN, R. L.
Essentielle Spurenelemente - Physiologie
und Mangelkrankheiten
Medizin 5 (1977) 539

- (9) BERSIN, T.
Biochemie der Mineral- und Spurenelemente
Akadem. Verlagsges., Frankfurt a.M. (1963)

- (10) BIBBY, B. G.; DEROCHE, E.; WILKINS, E.
The effect of tropical applications of lead
fluoride on dental caries
J. Dent. Res. 26 (1947) 446

- (11) BOWEN, W. H.
The effects of selenium and vanadium on
caries activity in monkeys (m. irus)
J. Ir. Dent. Ass. 8 (1972) 83

- (12) BRUDEVOLD, F.; STEADMAN, L.T. ; SMITH, F.A.
Inorganic and organic components of tooth structure
Ann. N. Y. Acad. Sci. 85 (1960) 110

- (13) BRUDEVOLD, F.; GARDNER, D. E.; SMITH, F. A.
The distribution of F in human enamel
J. Dent. Res. 35 (1956) 420

- (14) BRUDEVOLD, F.; SÖREMARK, R.
Chemistry of the mineral phase of enamel
Structural and chemical organisation of teeth
(MILES, A.E.W.; GREULICH, R.C.; eds)
Acad. Press, New York (1964)

- (15) BUONOCORE, H. G.; BIBBY, B. G.
The effect of various ions on enamel solubility
J. Dent. Res. 24 (1945) 103

- (16) CADELL, R. B.; COUSINS, F. B.
Urinary selenium and dental caries
Nature 185 (1960) 863
- (17) CARR, E. A.; RIGGS, D. S.
Protein-bound iodine in extrathyroidal tissues
Biochem. J. 54 (1953) 217
- (18) CEVC, G.; CEVC, P.; SCHARA, M.; SKALERIC, U.
The caries resistance of human teeth determined by the spatial arrangement of hydroxyapatite microcrystals in the enamel
Nature 24 (1980) 425
- (19) CHATMAN, K. G.; WILSON, D. J.
Lead levels in human deciduous teeth in Tennessee
Envir. Lett. 8 (1975) 173
- (20) CHENG, K. L.
Determination of traces of 3-diminobenzidine as Se (IV) organic reagent
Anal. Chem. 28 (1956) 1738
- (21) CLAYCOMB, C.K.; SORENSON, F. M.; GATEWOOD, D. C.; JUMP, E. B.; WEAVER, M. E.
Presence of selenium-75 in rat saliva and teeth after intracardial injection of radioactive sodium selenite
J. Dent. Res. 40 (1961) 504
- (22) CRANE, D. B.
Effect of molybdenum on fluoride absorption
J. Dent. Res. 39 (1960) 704

- (23) CRUICKSHANK, B. D.
Frequency distribution of zinc concentrations
in dental tissues of normal population
Biochem. J. 44 (1949) 299
- (24) CRUICKSHANK, B. D.
The natural occurrence of zinc in teeth
Brit. Dent. J. 61 (1936) 530
- (25) CURZON, M. E. J.
Effect of heavy metals on dental caries
and tooth eruption
J. Dent. Child. 37 (1970) 463
- (26) CURZON, M. E. J.; SPECTOR, P. C.; LOSEE, F. L.
Dental caries related to Cd and Pb in whole
human dental enamel
Trace substances in environmental health - 11
(HEMPHILL, D.D.; ed)
University Missouri, Columbia (1978) 23
- (27) CURZON, M. E. J.; COOKER, D. C.
Relationships of trace elements in human tooth
enamel to dental caries
Arch. Oral Biol. 23 (1978) 647
- (28) CUTRESS, T. W.
The inorganic composition and solubility of
dental enamel from several specified population
groups
Arch. Oral Biol. 17 (1972) 93
- (29) DEDHIYA, M. G.; YOUNG, F.; MEFFEREN, J. J.;
HIGUCHI, W. I.
The inhibition of hydroxyapatite dissolution by
Se and Mn under partial saturation conditions
in solutions containing F
Ass. Dent. Res. 204 (1974) 74

- (30) DOYLE, J. J.; PFANDER, W.H.; GREBING, S. E. ;
PERCE, I. O.
Effect of dietary cadmium on growth, cadmium
absorption and cadmium tissue levels
Envir. Health Persp. 6 (1974) 181
- (31) DREIZEN, S.; DEVY, B. M.; NIEDERMEIER, W.;
GRIGGS, J. H.
Comparative concentration of selected trace
metals in human and marmoset saliva
Arch. Oral Biol. 15 (1970) 179
- (32) DUDLEY, H. C.
Selenium as a potential industrial hazard
Public. Health Rep. 53 (1938) 281
- (33) EGER, W.; GATTOW, G.; KÄMMERER, H.
Derangement of mineralisation and osteogenesis
by tetracyclines
Germ. Med. Monthly 12 (1967) 175
- (34) ENGLISH, J. A.
Experimental effects of thiouracil and selenium
on the teeth and jaws of dogs
J. Dent. Res. 28 (1949) 172
- (35) EWERS, U.; BROCKHAUS, A.; GEUTER, E.; IDEL, H.;
SCHÜRMANN, E. A.
Untersuchungen über Zahnbleigehalt von Schulkin-
dern aus zwei unterschiedlich belasteten Gebieten
in Norddeutschland
Arch. Occup. Envir. Health 44 (1979) 65

- (36) FANG, M. M.; LEI, K.Y.; KILGORE, L.T.
Effects of zinc deficiency on dental caries in
rats
J. Nutr. 110 (1980) 1032
- (37) FEINENDEGEN, L. E.; KASPEREK, K.
Medical aspects of trace element research
Trace element analytical chemistry in medicine
and biology - 1 (BRAETTER, P.; SCHRAMMEL, P.; eds)
De Gruyter, Berlin, (1980)
- (38) FODOR, L.; DÖLP, R.; ESCHNER, J.; AHNEFELD, F. W.
Operationsbedingter Zinkverlust als limitierter
Faktor im Zellstoffwechsel
Anaesthesist 22 (1973) 393
- (39) FOX, M. R.
Metallic contaminants and human health
Acad. Press, London (1972) 1
- (40) GALSTER, W. A.
Mercury in alaskan eskimo mothers and infants
Envir. Health Persp. 15 (1976) 135
- (41) GEROS LE, R. Z.; MIRAVIK, M. A.; QUIVOLGICO, G. B.;
CURZON, M. E. J.
The effect of some trace elements on the lattice
parameters of human and synthetic apatite
Calc. Tiss. Res. 22 (1972) 362
- (42) GEYER, C. F.
Vanadium, a caries-inhibiting trace element in
Syrian hamster
J. Dent. Res. 32 (1953) 590

- (43) GRAVELY, J. F.
A radiographic survey of third molar development
Brit. Dent. J. 119 (1965) 397
- (44) GRENBY, T. H.; BULL, J. M.
Use of high-performance liquid chromatography
techniques to study the protection of hydroxy-
apatite by fluoride and glycerophosphate against
demineralisation in vitro
Caries Res. 14 (1980) 221
- (45) GRENBY, T. H.; BULL, J. M.
Chemical studies of the protective action of
phosphate compounds against the demineralisation
of human dental enamel in vitro
Caries Res. 14 (1980) 210
- (46) GRIFFITHS, N. M.; THOMPSON, C. D.
Selenium in whole blood of New Zealand residents
N. Z. Med. J. 80 (1974) 199
- (47) HAAS, T.; WIECK, A. G.; SCHALLER, K. M.; MACHE, K.;
VALENTIN, H.
Die usuelle Bleibelastung bei Neugeborenen und
ihren Müttern
Zentralbl. Bakteriol. 155 (1972) 431
- (48) HADJIMARKOS, D. M.; BONHORST, C. W.
The selenium content of human teeth
Oral. Surg. 12 (1959) 113
- (49) HADJIMARKOS, D. M.; SHEARER, T. R.
Selenium concentration in human saliva
Amer. J. Clin. Nutr. 24 (1971) 1210

- (50) HADJIMARKOS, D. M.
Toxic effects of dietary selenium in hamsters
Nutr. Rep. 1 (1970) 175
- (51) HADJIMARKOS, D. M.
Effect of selenium on dental caries
Arch. Envir. Health 10 (1965) 893
- (52) HADJIMARKOS, D. M.; BONHORST, C. W.
Fluoride and selenium levels in contemporary
and ancient greek teeth in relation to dental
caries
Nature 193 (1962) 177
- (53) HADJIMARKOS, D. M.; BONHORST, C. W.
Selenium effect on dental caries susceptibility
J. Pediat. 52 (1958) 574
- (54) HADJIMARKOS, D. M.; BONHORST, C. W.
Selenium concentration in dental tissue
J. Pediat. 54 (1962) 237
- (55) HAMBIDGE, K. M.; WALRAVENS, P. A.; PRASAD, A. S.
Trace elements in human health
Acad. Press, New York (1976) 21
- (56) HARDWICK, J. L.; MARTIN, C. J.
A pilot study using mass spectrometry for the esti-
mation of the trace element content of dental tissues
Helv. Odont. 11 (1967) 62
- (57) HEIN, J. W.; WISOTZKY, J.
The effect of a 10 ppm vanadium drinking solution
on dental caries in male and female Syrian hamsters
J. Dent. Res. 34 (1955) 756

- (58) HISLOP, J. S.; WILLIAMS, D. R.
Nuclear activation techniques in the life sciences - 2
IAEA, Vienna (1973) 51
- (59) HUEPER, W. C.; CONWAY, W. D.
Environmental carcinogenes in man and animals
Ann. N. Y. Acad. Sci. 108 (1963) 963
- (60) JONES, G. B.; GODWIN, K. O.
Studies on nutritional role of selenium. Distribution
of radioactive selenium in mice
Aust. J. Agr. Res. 14 (1963) 716
- (61) ISHIWATA, Y.
Zinc and magnesium content in human teeth
Jap. J. Hyg. 34 (1979) 697
- (62) IYENGAR, G. V.; KOLLMER, W. E.; BOWEN, H. J. M.
The elemental composition of human tissues and body
fluids
Verlag Chemie, Weinheim (1978)
- (63) IYENGAR, G. V.
Autopsy sampling and element analysis errors
arising from post - mortem changes
J. Pathol. 134 (1981) 173
- (64) IYENGAR, G. V.; KASPEREK, K.; FEINENDEGEN, L. E.
Retention of metabolized Sb, Co, Se, I, Hg and Zn
in the tissues of the rat following freeze-drying and
oven-drying at different temperatures
3rd international conference nuclear methods in environ-
mental and energy research
University Missouri, Columbia (1977)

- (65) IYENGAR, G. V.
The element analysis of biological systems
Interner Bericht, Nucl. Res. Center, Jülich (1981)
- (66) KAGEY, B. T.; BUMGARNER, J. E.; CRESO, J. P.
Trace substances in environmental health - 11
(HEMPHILL, D. B.; ed)
University Missouri, Columbia (1977) 252
- (67) KASPEREK, K.
Anwendung der Aktivierungsanalyse in Medizin
und Biologie
Atomkernenergie 14 (1969) 143
- (68) KASPEREK, K.
Die Technik der Aktivierungsanalyse und ihre Bedeutung
für die Biosphäre
Kerntechnik 12 (1970) 207
- (69) KASPEREK, K.; SCHICHA, H.; SILLER, V.
Die Bedeutung der Spurenelemente in der Biosphäre
und ihre aktivierungsanalytische Bestimmung
Atomkernenergie 15 (1970) 185
- (70) KASPEREK, K.; FEINENDEGEN, L. E.; SILLER, V.
Aktivierungsanalyse von Spurenelementkonzentrationen
im menschlichen Kopfhair; Einfluß von Geschlecht, Alter
und Umwelt
Ergebnisse der klinischen Nuklearmedizin (HORST, W.;
PABST, H. W.; eds)
Schattauer, Stuttgart (1971) 123
- (71) KASPEREK, K.
Zink ein essentielles Spurenelement
Interner Bericht, Nucl. Res. Center, Jülich (1976)

(72) KASPEREK, K.

Analytical techniques for the determination of 20 trace elements in biological samples by means of instrumental thermal neutron activation analysis

2nd international conference nuclear methods in enviromental and energy research

University Missouri, Columbia (1974) 140

(73) KASPEREK, K.; SILLER, V.; KNIERIM, H. J.

Neutronenaktivierungsanalytische Bestimmung von Kobalt und Calcium bei der experimentellen Herzinsuffizienz durch Kobaltchlorid

Z. G. Exp. Med. 150 (1969) 316

(74) KATO, Y.; OGURA, H.

Low temperature ashing of bovine dentine

Calcif. Tissue Res. 18 (1975) 141

(75) KIEM, J.; BORBERG, H., IYENGAR, G. V.; KASPEREK, K.; SIEGERS, M.; FEINENDEGEN, L. E.; GROSS, R.

Elemental composition of platelets, part 1
Water content of normal human platelets and measurements of their concentrations of Cu, Fe,

K and Zn by neutron activation analysis

Clin. Chem. 25 (1979) 705

(76) KIEM, J.; IYENGAR, G. V.; BORBERG, H.; KASPEREK, K.; SIEGERS, M.; FEINENDEGEN, L. E.; GROSS, R.

Sampling and sample preparation of platelets for trace element analysis and determination of certain selected bulk and trace elements in normal

human platelets by means of neutron activation analysis

Nuclear activation techniques in the life sciences - 3

IAEA, Vienna (1979) 143

- (77) KOCH, O. G.; KOCH-DEDIC, G. A.
Vorbereitung des Probenmaterials
Handbuch der Spurenelementanalyse - 1
Springer Verlag, Berlin (1974) 175
- (78) KRÜGER, E.
Operationslehre für Zahnärzte
Quintessenz-Verlag, Berlin (1979) 218
- (79) KRÜGER, E.
Lehrbuch der chirurgischen Zahn-, Mund- und Kiefer-
heilkunde - 1
Quintessenz-Verlag, Berlin (1981) 265
- (80) KUBOTA, J.; LOSAR, U. A.; LOSEE, F.
Copper, zinc, cadmium and lead in human
blood from 19 locations in the United States
Arch. Envir. Health 16 (1968) 788
- (81) LEICESTER, H. M.; THOMASSEN, P. R.
Uptake of radioactive beryllium, vanadium, selenium,
cerium and yttrium in the tissues and teeth of rats
J. Dent. Res. 43 (1964) 346
- (82) LEICESTER, H. M.
The biochemistry of the teeth
Ann. Rev. Biochem. 22 (1953) 341
- (83) LIEBSCHER, K.; SMITH, H.
Essential and nonessential trace elements, a method
of determining whether an element is essential or
nonessential in human tissue
Arch. Envir. Health 17 (1968) 881
- (84) LITTLE, M. F.; STEADMAN, L. T.
Chemical and physical properties of altered
and sound enamel
Arch. Oral Biol. 11 (1966) 273

- (85) LOCKERETZ, W.
Lead content of deciduous teeth of children in
different environments
Arch. Envir. Health 30 (1975) 583
- (86) LODDING, A.
Indepth distributions of elements in teeth,
determined by ion probe analysis
Microscopia 2 (1978) 367
- (87) LOMBECK, I.
The selenium state of children
Eur. J. Pediat. 128 (1978) 213
- (88) LOMBECK, I.; KASPEREK, K.; HARBISCH, H. D.;
BECKER, K.; SCHUMANN, E.; SCHRÖTER, W.
The state and supply of selenium in healthy chil-
dren and dietetically treated patients with inborn
errors of metabolism
Trace element metabolism in man and animals -3
(KIRCHGESSNER, M. et al.; eds)
ATW, Freising-Weihenstephan (1978) 312
- (89) LOSEE, F. L.; CUTRESS, T. W.; BROWN, R.
Natural elements of the periodic table in
human dental enamel
Caries Res. 8 (1974) 123
- (90) LOSEE, F. L.; ADKINS, B. L.
A study of the mineral environment of caries
resistant navy recruits
Caries Res. 3 (1969) 23
- (91) Luftreinhalteplan Ruhrgebiet West 1978 - 1982
(Duisburg, Oberhausen, Mülheim)
Luftreinhalteplan gemäß § 47 des Bundes-Immis-
sionsschutzgesetzes aufgestellt vom Minister für Arbeit,
Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen
Universitäts-Buchdruckerei, Düsseldorf (1978)

- (92) LUNDBERG, M.; SÖREMARK, R.; THILANDER, H.
The concentration of some elements in the enamel
of unerupted (impacted) human teeth
Odontologisk Rev. 16 (1965) 8
- (93) LUNDBERG, M.; SÖREMARK, R.; THILANDER, H.
Gamma-ray spectrometric analysis of some
elements in coronal dentine of unerupted
human teeth
Odont. Rev. 16 (1965) 97
- (94) MACKIE, A. C.; STEPHENS, R.; TOWNSHEND, A.; WALDRON, H.A.
Tooth lead levels in Birmingham children
Arch. Envir. Health 32 (1977) 178
- (95) MC CONNELL, K. P.
Passage of selenium through mammary glands of
rat and distribution of selenium in milk proteins
after subcutaneous injection of sodium selenate
J. Biochem. 173 (1948) 653
- (96) MILLS, C. F.
Trace element interactions: Effects of dietary
composition on the development of imbalance
and toxicity
Trace element metabolism in animals -2 (HOEKSTRA, W. G.
et al.; eds)
University Park Press, Baltimore (1974) 79
- (97) MÜNCH, J.
Die Rolle des Spurenelements Mangan bei der
Kariesprophylaxe
J. Dent. Belg. 7 (1959) 284
- (98) MUHLER, J. C.
The effect of Vit. C on skeletal fluoride storage
in the Guinea pig
J. Amer. Dent. Ass. 56 (1958) 335

- (99) MURTHY, G. K.; RHEA, U. S.
Cd, Cu, Fe, Pb, Mn and Zn in evaporated milk
infant products and human milk
J. Dairy Sci. 54 (1979) 1001
- (100) NEUMAN, W. R.; NEUMAN, W. W.
The chemical dynamics of bone mineral (Thesis)
University Chicago Press, Chicago (1958)
- (101) NIXON, G. S.; MYERS, V. B.
Estimation of selenium in human dental enamel
by activation analysis
Caries Res. 4 (1970) 179
- (102) NIXON, S. S.
Trace element content of hard dental tissues
and dental plaque
Caries Res. 3 (1969) 60
- (103) NOMURA, R.
Experimental study on biological effect of
cadmium - cadmium in teeth and various viscera
of dogs
Nippon Erseigaku Zasshi. 37 (1980) 550
- (104) Nutrition reviews
Increased dental caries in young rats
Nutr. Rev. 32 (1974) 44
- (105) PARIZEK, J.; KALOOSKOJA, J.; BABICKY, A.;
BENES, J.; PAULIK, L.
Interactions of selenium with mercury, cadmium
and other toxic metals
Trace elements metabolism in animals -2 (HOEKSTRA,
W. G. et al.; eds)
University Park Press, Baltimore (1974)

- (106) PARIZEK, J.
Toxicological studies involving trace elements. A
survey paper
Nuclear activation techniques in the life sciences -2
IAEA, Vienna (1973)
- (107) PARIZEK, J.
The protective effect of small amounts
of selenite in sublimate intoxication
Experientia 23 (1967) 142
- (108) PERRY, H. M.; TIPTON, I. H.; SCHROEDER, H. A.;
COOK, M. J.
Variability in the metal content of human organs
J. Lab. Clin. Med. 60 (1962) 245
- (109) PERSIGHEHL, M.
Praktische Anwendung und Ergebnisse der Spuren-
elementforschung in der Medizin und Biologie
Interner Bericht, Nucl. Res. Center, Jülich (1975)
- (110) PERSIGHEHL, M.; SCHICHA, H.; KASPEREK, K.; KLEIN, J. J.
Behaviour of trace element concentration in human
organs in dependence of age and environment
Beitr. Path. 161 (1977) 209
- (111) PERSIGHEHL, M.; KASPEREK, K.; KLEIN, H. J.;
FEINENDEGEN, L. E.
Influence of industrialization on trace element
concentration in human lungs
Beitr. Path. 157 (1976) 260
- (112) RETIEF, D. H.; CLEATON-JONES, P. E.
The quantitative analysis of sixteen elements
in normal human enamel and dentine by neutron
activation analysis and high-resolution
gamma-spectrometry
Arch. Oral Biol. 16 (1971) 1257

- (113) RETIEF, D. H.; VAN WYK, C. W.; TURSTRA, I.
A qualitative and comparative study of elements
in teeth by neutron activation and high resolution
gamma-spectrometry
J. Dent. Ass. S. Afr. 24 (1969) 75
- (114) ROBINSON, C.; WEATHERELL, J. A.; HALLSWORTH, A. S.
Variations in the composition of dental enamel
within thin ground tooth sections
Caries Res. 5 (1971) 44
- (115) ROBINSON, C.
Distribution of magnesium in mature human enamel
Caries Res. 15 (1981) 70
- (116) SCHICHA, H.; MÜLLER, W.; KASPEREK, K.; SCHRÖDER, R.
Neutron activation analysis of the trace element
content in surgically removed samples of the human
brain
Beitr. Path. 151 (1974) 281
- (117) Schicha, H.; KLEIN, H. J.; KASPEREK, K.; RITZL, F.
Aktivierungsanalytische quantitative Bestimmung
mehrerer Elemente in verschiedenen Organen
und im Karzinomgewebe
Beitr. Path. 138 (1969) 245
- (118) SCHRIFTENREIHE der LIB
Landesanstalt für Immisions- und Bodennutzungs-
schutz des Landes Nordrhein-Westfalen - 51
Girardet, Essen (1980)
- (119) SCHRIFTENREIHE der LIB
Landesanstalt für Immisions- und Bodennutzungs-
schutz des Landes Nordrhein-Westfalen - 41
Girardet, Essen (1977)

- (120) SCHRIFTENREIHE der LIB
Landesanstalt für Immisions- und Bodennutzungs-
schutz des Landes Nordrhein-Westfalen - 37
Girardet, Essen (1976)
- (121) SHAW, J. H.; GRIFFITHS, D.
Developmental and post-developmental influences
on incidence of experimental dental caries
resulting from dietary supplementation by various
elements
Arch. Oral Biol. 5 (1961) 301
- (122) SHEARER, T. R.
Cadmium gradient in human and bovine enamel
J. Dent. Res. 59 (1980) 1072
- (123) SHEARER, R. R.; HADJIMARKOS, D. M.
Incorporation of selenium in protein fraction of
the enamel during the development
J. Nutr. 103 (1973) 553
- (124) SMITH, M. I.; LILLE, R. D.
Studies in chronic selenosis. I. The chronic
toxicity of naturally occurring food selenium
Publ. Health 174 (1940) 1
- (125) SMITH, M. I.; WETHFALL, B. B.
Further field studies on selenium problem in
relation to public health
Publ. Health 52 (1937) 1375
- (126) SOBEL, A. E.; HANOK, A. J.
Local factors in the mechanism of calcification
Ann. N. Y. Acad. Sci. 60 (1955) 713

- (127) SÖREMARK, R.; SAMSAHL, K.
Gamma-ray spectrometric analysis of elements in
normal human enamel
Arch. Oral Biol. 6 (1961) 821
- (128) SÖREMARK, R.; SAMSAHL, K.
Analysis of inorganic constituents in dental
calculus by means of neutron activation and
gamma-ray spectrometry
J. Dent. Res. 41 (1962) 596
- (129) SÖREMARK, R.; INGELS, O.; PLETT, H. W.;
SAMSAHL, K.
Influence of some dental restorations on the
concentrations of inorganic constituents of the teeth
Odont. Scand. 20 (1962) 215
- (130) SÖREMARK, R.; WING, K.; OLSSON, K.; GOLDINE, J.
Penetration of metallic ions from restoration
into teeth
J. Prosth. Dent. 20 (1968) 531
- (131) SÖREMARK, R.
Mineral phase of enamel
J. Dent. Res. 18 (1957) 325
- (132) SÖREMARK, R.; SAMSAHL, K.
Gamma-ray spectrometric analysis of
elements in normal human dentin
J. Dent. Res. 41 (1962) 603
- (133) SOLOMONS, N. W. ; JACOB, R.A.; PINEDA, O.; VITERI, F.
Studies on the bioavailability of zinc in man - 2.
Absorption of zinc from organic and inorganic sources
J. Lab. Clin. Med. 94 (1979) 335

- (134) STEADMAN, L. T.; BRUDEVOLD, F.; SMITH, A.;
GARDNER, D.E.; LITTLE, M. F.
Trace elements in ancient Indian teeth
J. Dent. Res. 38 (1959) 285
- (135) STEIGLEDER, G. K.
Taschenatlas der Dermatologie
Thieme Verlag, Stuttgart (1981) 38
- (136) STOEPPLE, M.
Analysis of toxic metals in biological
materials
Clinical chemistry and chemical toxicology of
metals (BROWN, S.S.; ed)
Biochem. Press (1977) 307
- (137) STOEPPLE, M.; BRANDT, K.
Untersuchungen zum Gehalt von Blei, Cadmium
und Quecksilber in Nahrungsmitteln
Lebensmittelchemie und gerichtl. Chemie 33 (1979) 105
- (138) STREHLOW, C. D.; KNEIP, T. J.
The distribution of lead and zinc in the human
skeleton
Amer. Ind. Hyg. Ass. J. 30 (1969) 372
- (139) TANK, G.; STORVICK, C. A.
Effect of naturally occurring selenium and
vanadium on dental caries
J. Dent. Res. 39 (1960) 473
- (140) THOMASSEN, P. R.; LEICESTER, H. M.
Uptake of radioactive beryllium, vanadium,
selenium, cerium and yttrium in tissues and teeth
of rats
J. Dent. Res. 43 (1964) 346

- (141) TIPTON, I. H.; COOK, M. J.
Trace elements in human tissue
Health Phys. 9 (1963) 89
- (142) TOMLINSON, R. H.; DICKSON, R. C.
Determination of selenium in human tissues by means
of activation analysis
International conference of modern trends in activation
analysis College Station, Texas (1965)
- (143) TRELEASE, S. F.; BEATH, O. A.
Selenium: Its geological occurrence and its
biological effects in relation to botany, chemistry,
agriculture, nutrition and medicine
Self-Publishing, New York (1949)
- (144) VALLEE, B. L.
Biochemistry, physiology and pathology of zinc
Physiol. Rev. 39 (1959) 443
- (145) VBRIC, V.
Dental caries and the concentration of aluminium and
strontium in enamel
Caries Res. 14 (1980) 141
- (146) WAGNER, M. J.
A comparison of fluorides as they naturally occur
and as they are added in communal fluoridation
Pharmacology and toxicology of fluorine (MUHLER, J.C.;
HINE, M.K; eds)
Indiana University Press, Mineapolis (1959) 38

- (147) WALLMANN, J. S.; HILTON, H. B.
Premature, tetracycline and oxytetracycline
in tooth development
Lancet 2 (1962) 720
- (148) WISOTZKY, J.; HEIN, J. W.
Effects of drinking solutions containing
metallic ions above and below hydrogen in the
electromotive series on dental caries in Syrian
hamster
J. Amer. Dent. Ass. 57 (1958) 797

M e i n L e b e n s l a u f

Name, Vorname: Frohn, Michael Franz Martin

Geburtsdatum und -ort: 16.04.1955 in Aachen

Wohnort und -straße: Aachen, Lousbergstraße 34

Konfession: römisch-katholisch

Eltern: Bernhard Frohn, Hauptschulrektor
Hildegard Frohn, geb. Gielsdorf,
Kindergarten-Leiterin

Geschwister: eine jüngere Schwester

schulische Ausbildung: ab 1962 Grundschule in Kofferen,
ehemaliger Kreis Jülich
ab 1966 staatlich anerkanntes
Gymnasium Haus Overbach,
Barmen bei Jülich
09.06.1975 Zeugnis der Reife (Abitur)

vorberufliche Ausbildung: 01.08.1975 Beginn der Ausbildung zum
Zahntechniker

berufliche Ausbildung: Sommersemester 1978 bis Sommerseme-
ster 1983 Studium der Zahnmedizin
25.11.1983 Staatsexamen

Approbation: 01.12.1983 durch Reg.präs. in Köln

berufliche Tätigkeit: seit 01.01.1984 Tätigkeit als
Zahnarzt

